

第4回 デジタルコンテンツシンポジウム

エージェント・アーキテクチャに基づく キャラクターAIの実装

ー クロムハウズのキャラクターAIを例として ー

三宅 陽一郎
(株式会社 フロム・ソフトウェア)

y.m.4160@gmail.com

2008/6/11

@幕張メッセ

Contact Information

Youichiro Miyake

- Mail: y.m.4160@gmail.com
- Twitter: @miyayou
- Blog: <http://blogai.igda.jp>
- LinkedIn: <http://www.linkedin.com/in/miyayou>
- Facebook: <http://www.facebook.com/youichiro.miyake>

はじめに

講演者

ゲーム開発者

講演主旨



- ① クロムハウンドズにおいて開発したゲームAI技術を
発表する。
- ② 研究者の皆様に、デジタルゲームAIの分野の研究分野を紹介し、
研究の端緒として頂く

コンテンツ

第1章 キャラクターAIとは何か？

(5分)

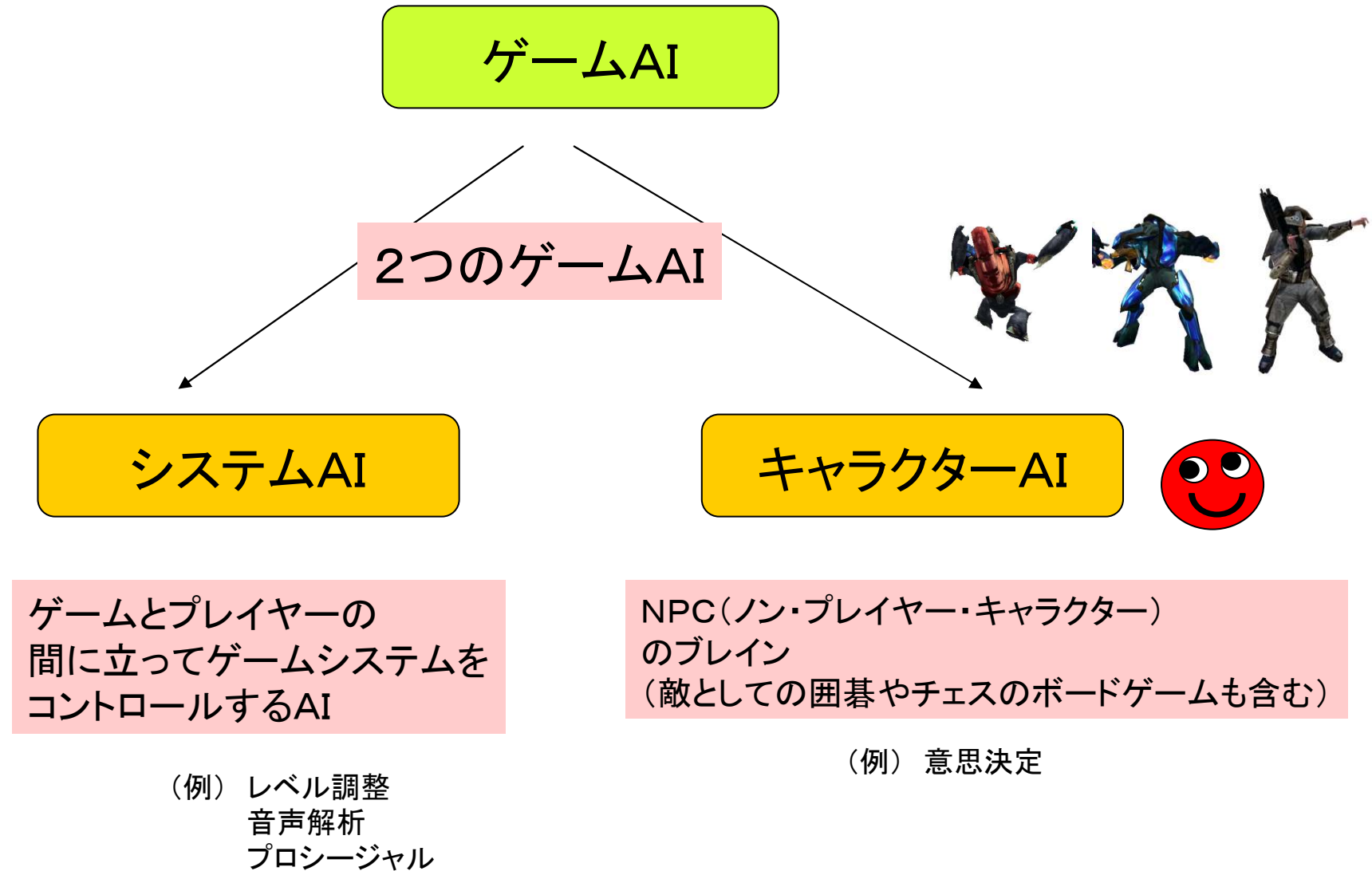
第2章 クロムハウズにおける自律型エージェント (10分)

- ① 個としてのAI
- ② マルチエージェント

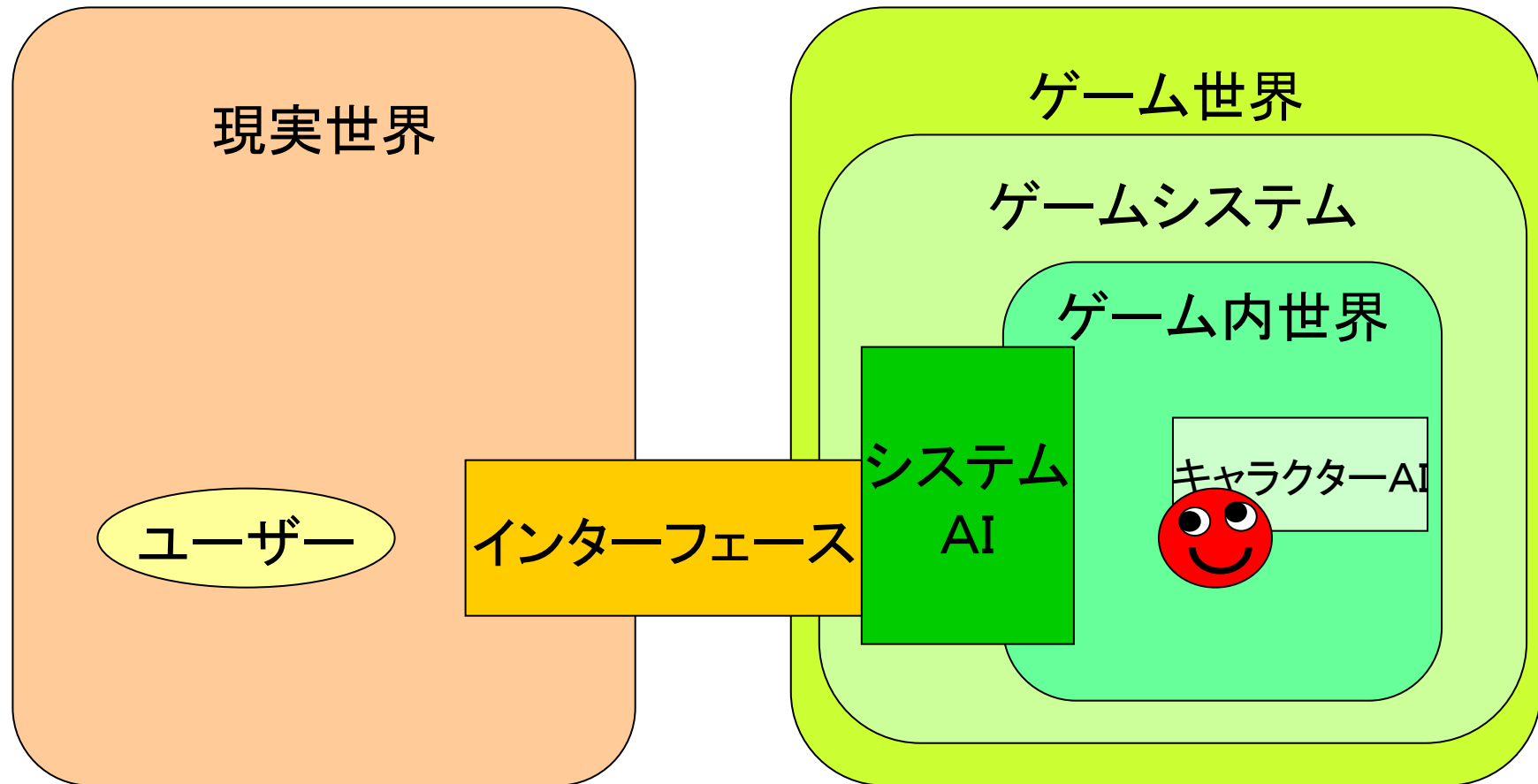
第3章 大学・研究機関におけるゲームAI研究テーマ (1分)

第1章 キャラクターAIとは何か？

ゲーム業界でゲームAIと言えば...

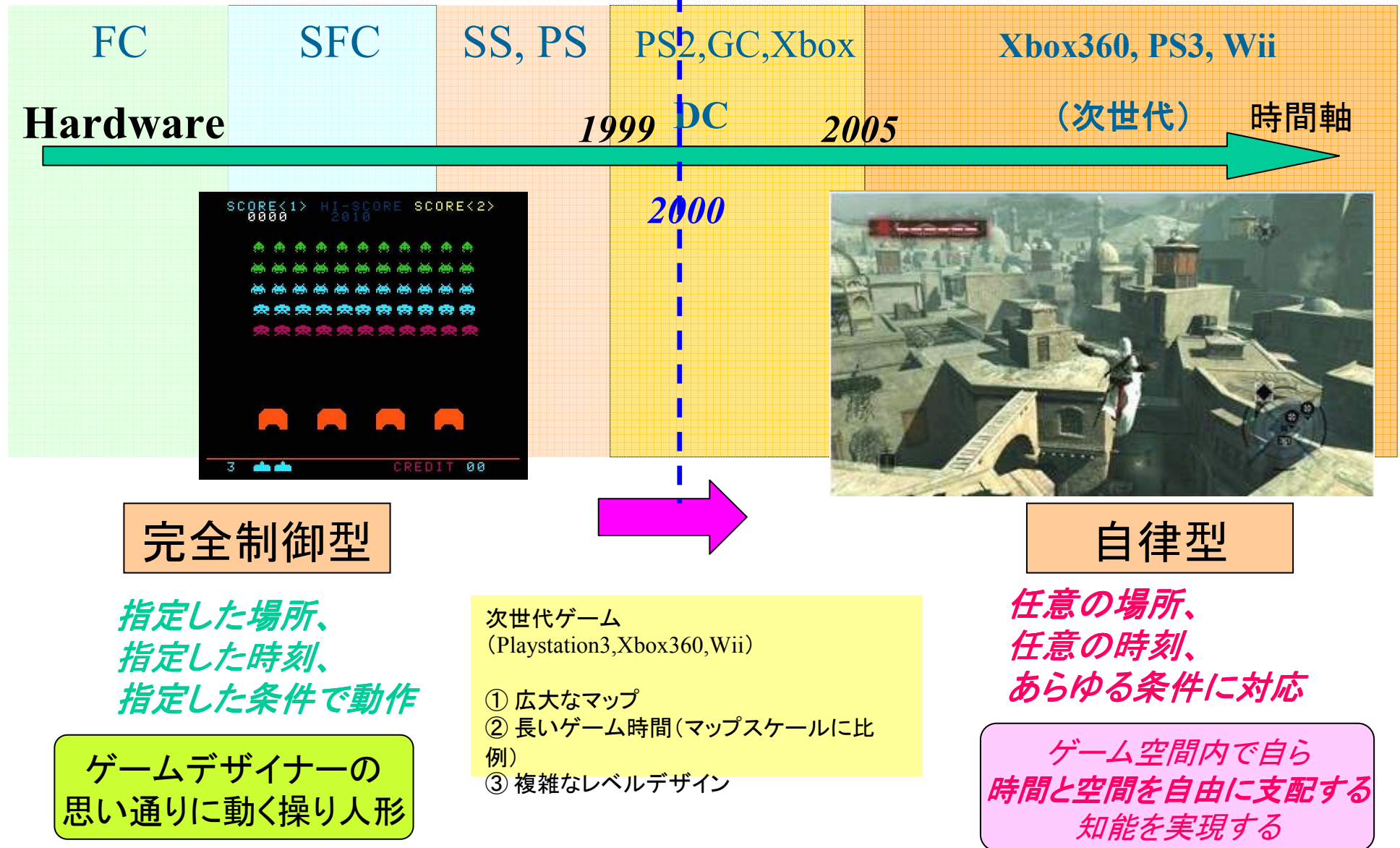


2つのゲームAI



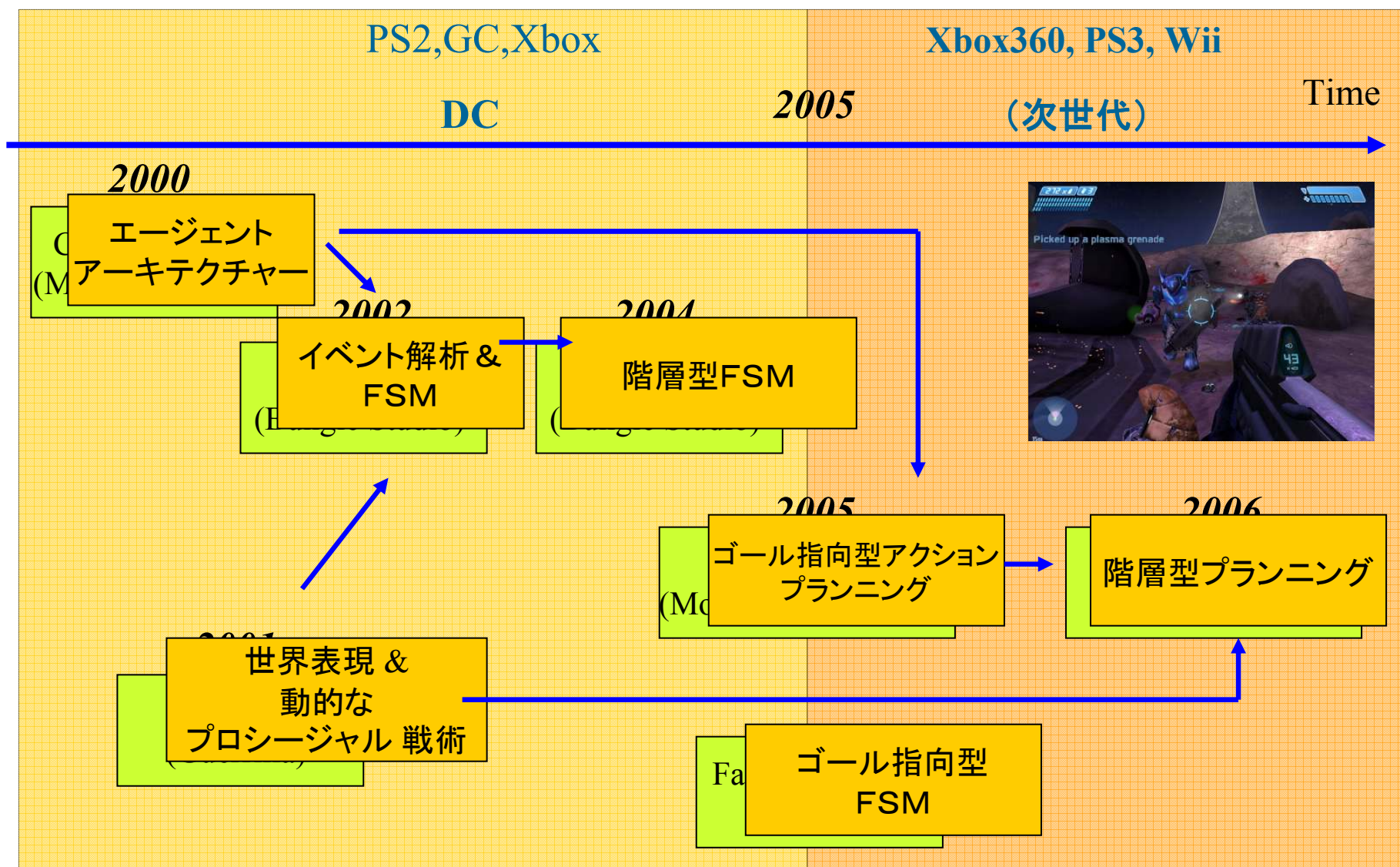
現実における感覚をインターフェースによってデジタル世界へ延長する

キャラクターAI技術の歴史



「作り込み」から「AI技術・アルゴリズム」を使った複雑・膨大な情報の処理へ

自律型AIの歴史: FPS(欧米)を中心に進化



日本には、殆どこの型がない

散見していたキャラクターAIにおける
エージェント・アーキテクチャの情報を
整理するところから始める

C4 アーキテクチャ

デジタル空間で生きる生物の知性のために提案されたアーキテクチャー



MIT Media Lab.

Synthetic Characters Group

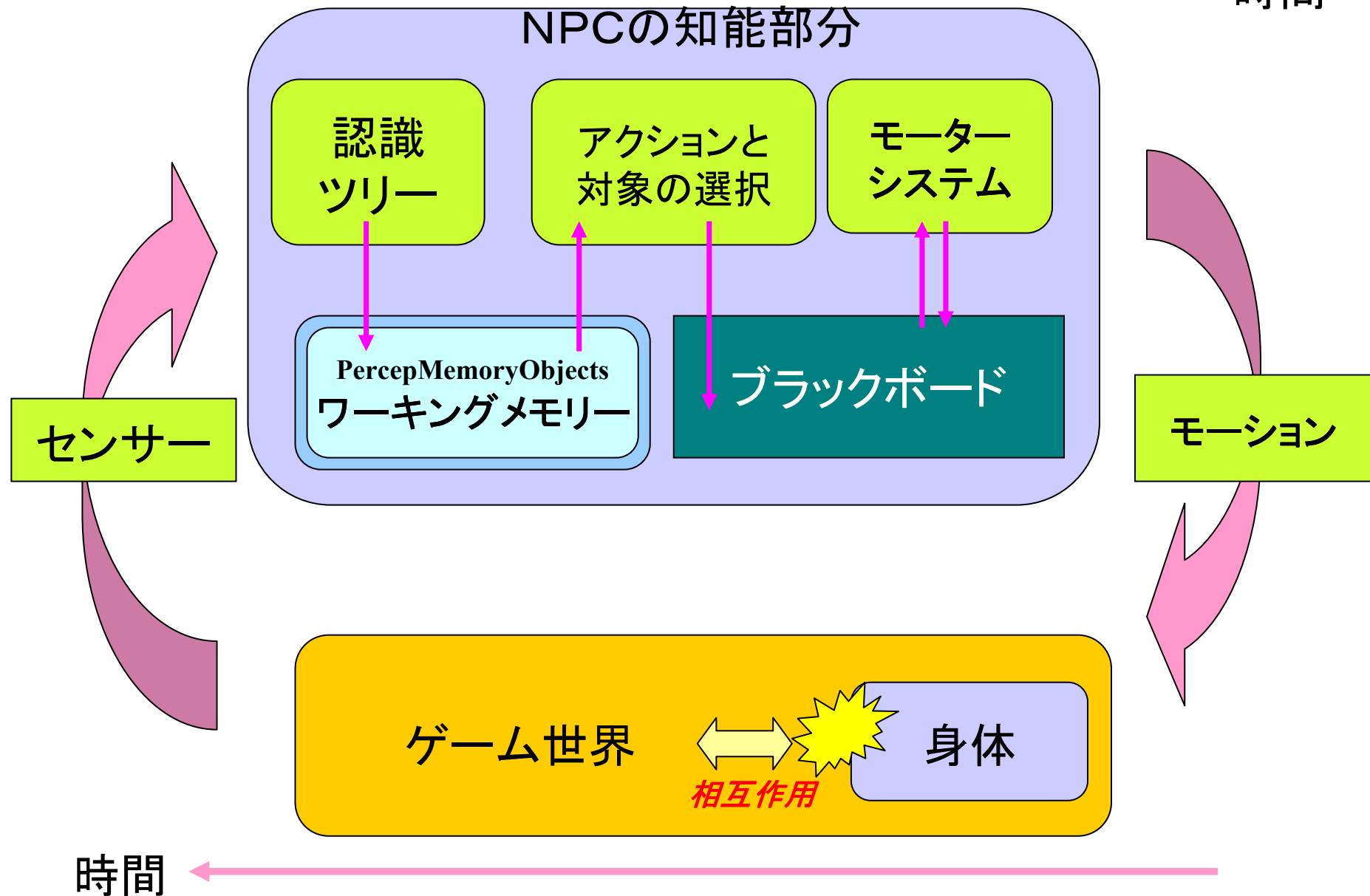
論文: D. Isla, R. Burke, M. Downie, B. Blumberg (2001).,
“A Layered Brain Architecture for Synthetic Creatures”,
<http://characters.media.mit.edu/Papers/ijcai01.pdf>
(ゲームAIにおける最重要論文の1つ)

生き物の知性をエージェント・アーキテクチャーに写し取る

バーチャルな空間に生きる犬が実現され、後にF.E.A.R. のNPCのAIに応用される。

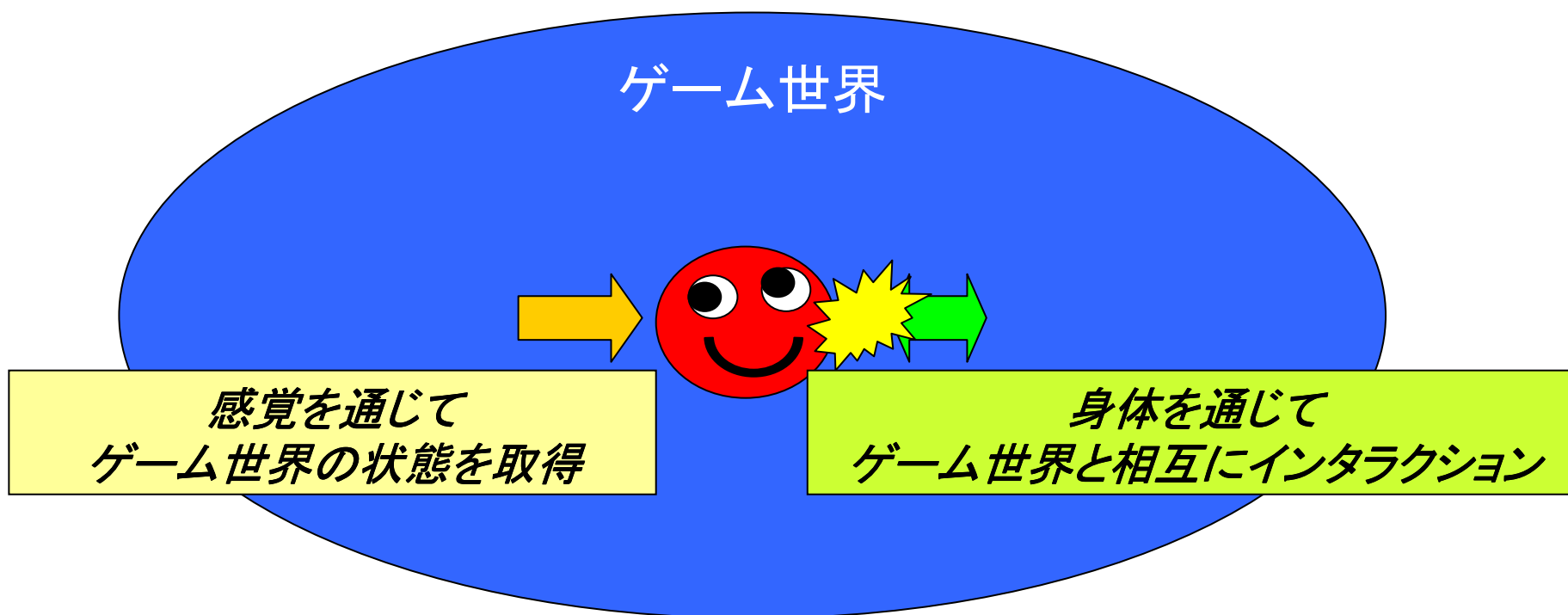
MIT メディアラボ C4 アーキテクチャ

時間 →

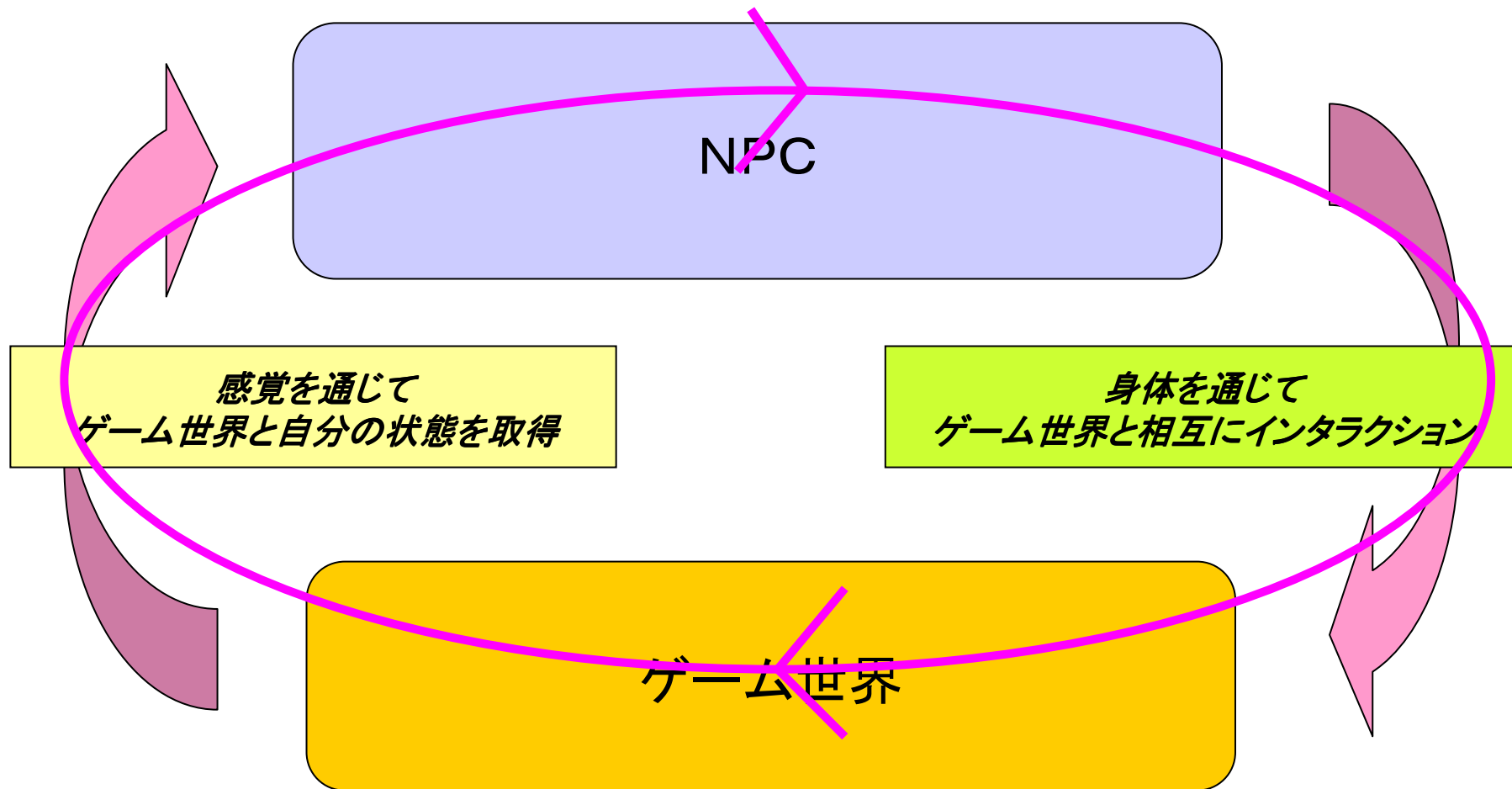


ゲームにおけるエージェントの特徴

世界もAIも全てデジタル空間内にある

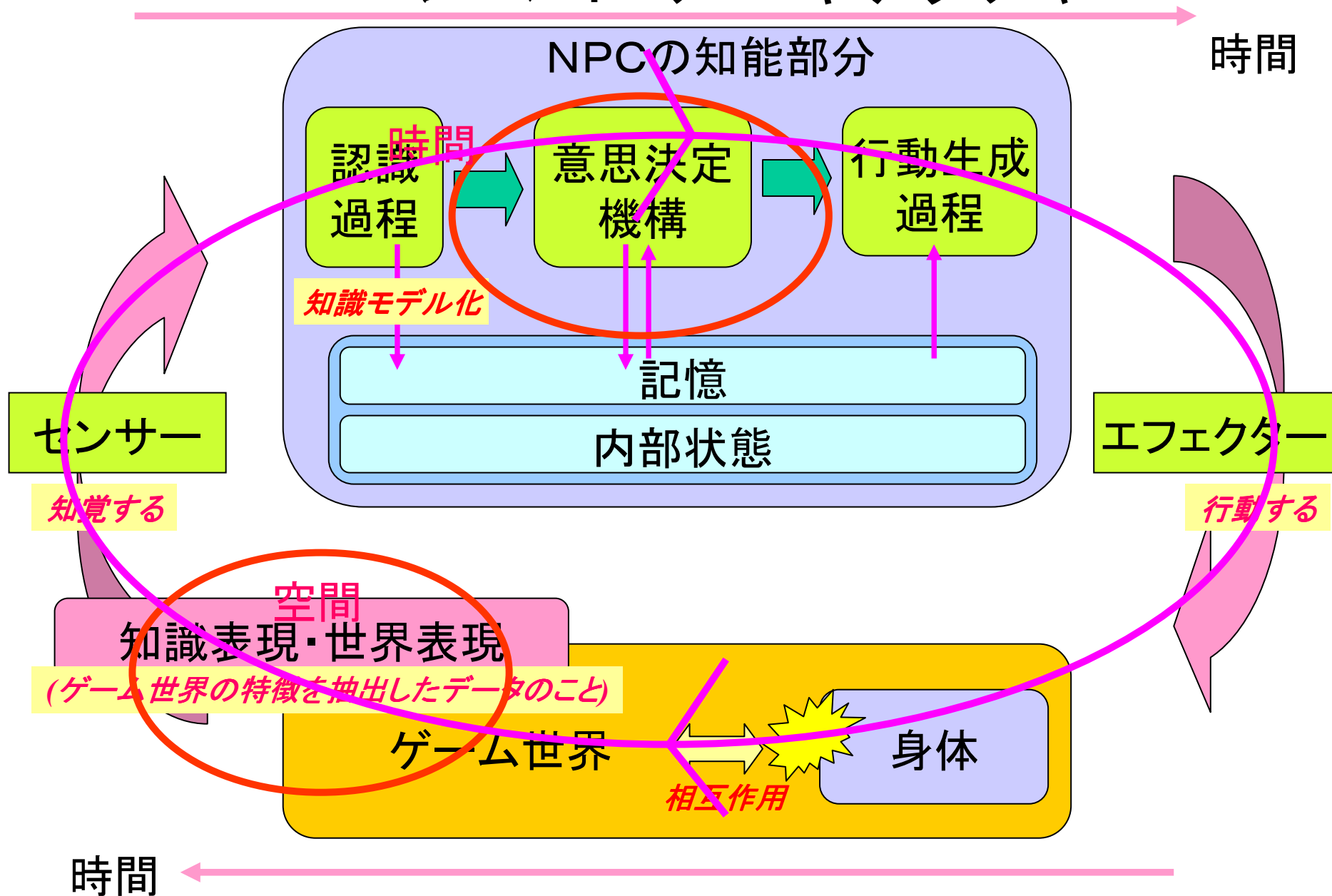


エージェント・アーキテクチャはゲーム世界で情報の 流れを形成する



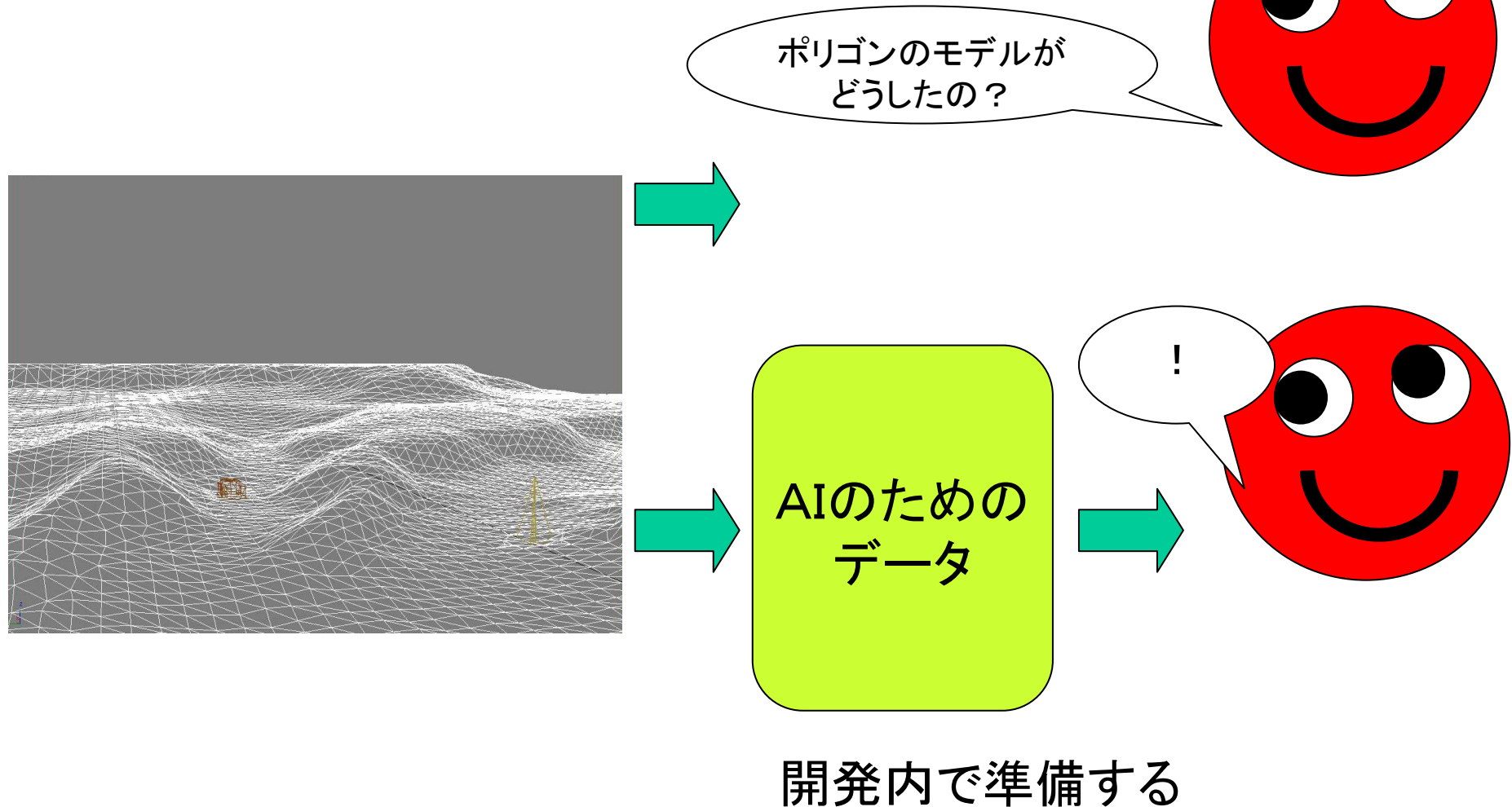
この情報の流れの仕掛けること = キャラクターAI

エージェント・アーキテクチャ

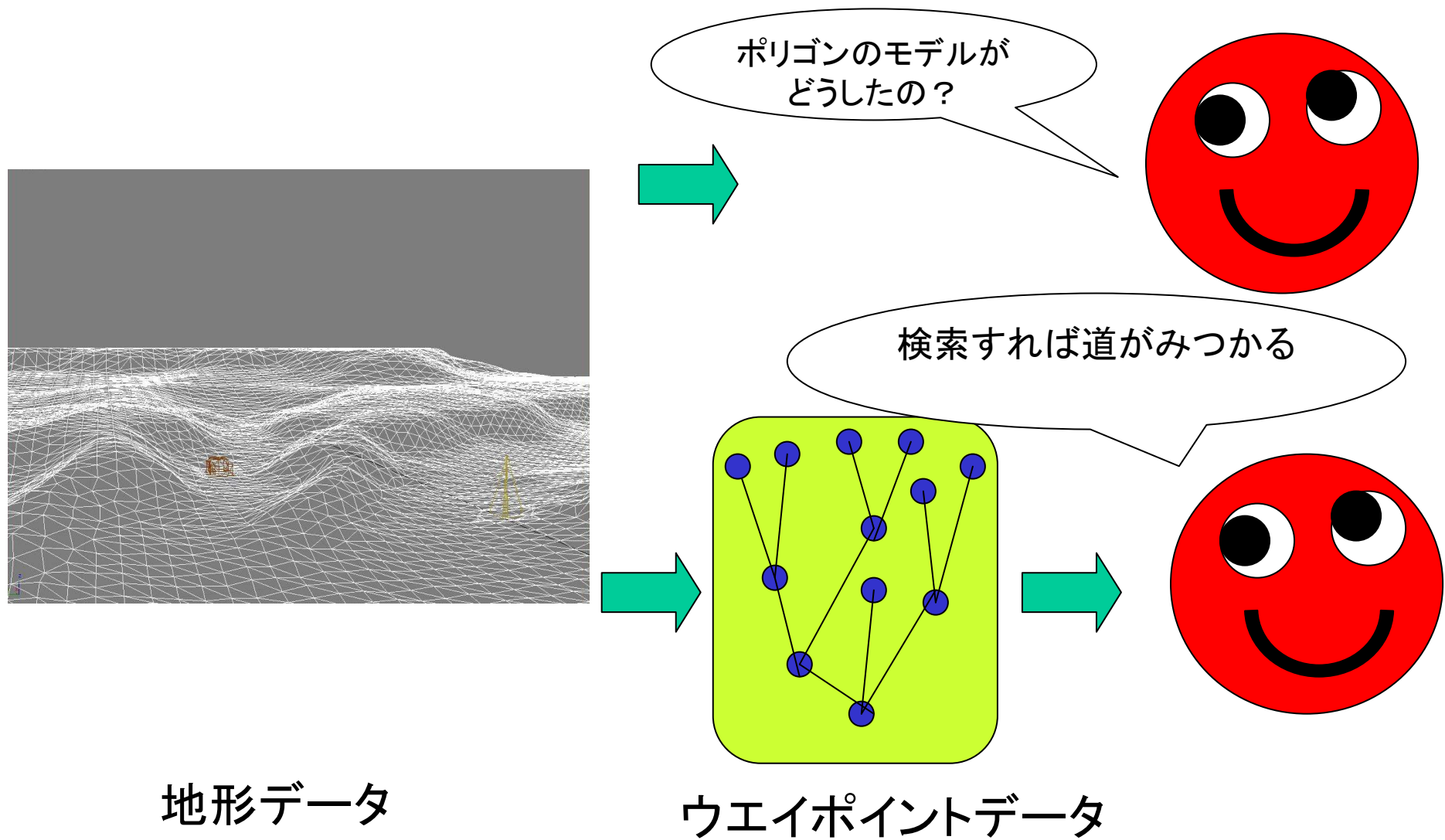


世界表現とは？

AIの属する世界の大局的な情報の知識表現



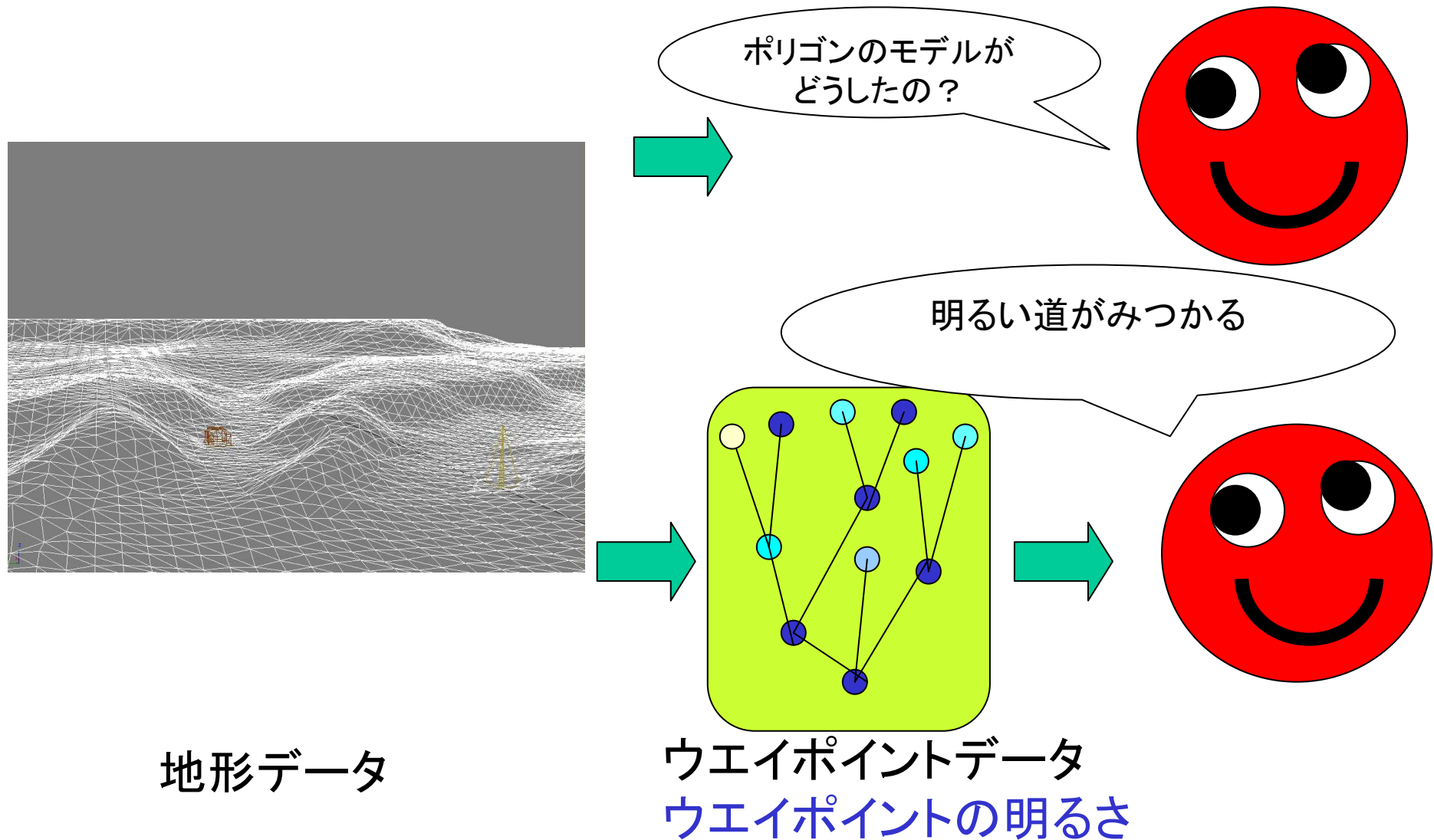
世界表現の例 パス検索データ



世界表現を精緻にすればするほどAIは賢くなる

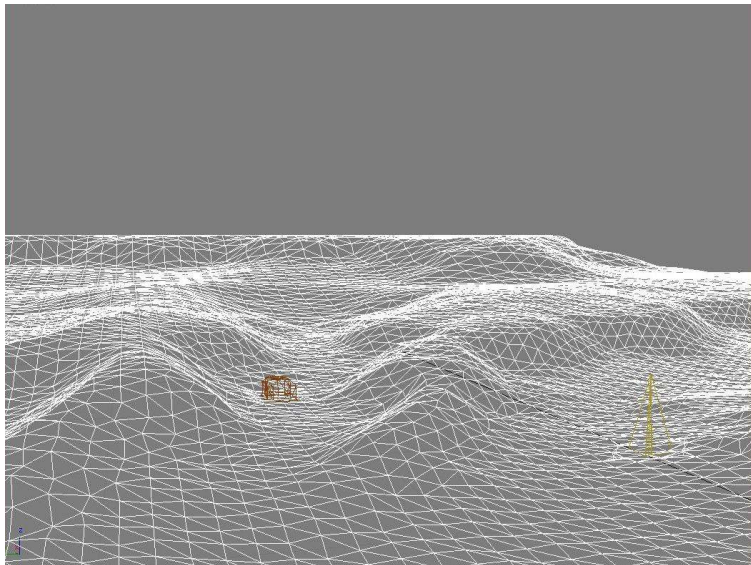
世界表現の例

パス検索データ+ウェイポイントの明るさ

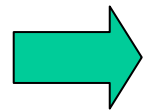


世界表現を精緻にすればするほどAIは賢くなる

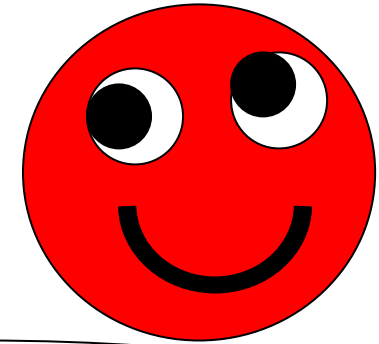
世界表現の例 パス検索データ+ウェイポイントの明るさ + 東側に対して視線が通らない(見通しが悪い)



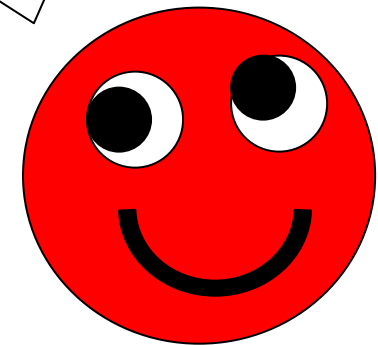
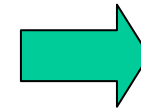
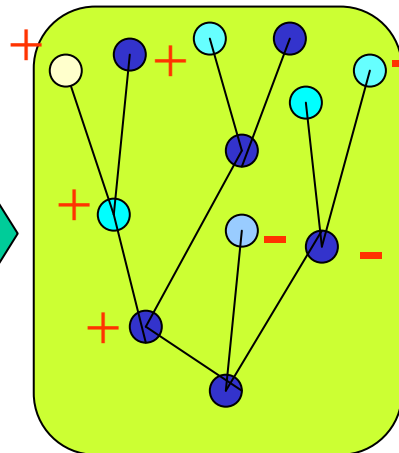
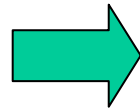
地形データ



ポリゴンのモデルが
どうしたの？



敵が東側から来るので、
東側から見えにくくて暗い道を通ろう



ウェイポイントデータ
ウェイポイントの明るさ
東側から見えやすいかどうか(+、-)

第1章まとめ

リアルタイムなキャラクターAIの現状

- (1) キャラクターAIには、欧米のFPSを通して、アカデミックなAIの知識が導入されつつある。
(日本は遅れている)
- (2) エージェント・アーキテクチャがキャラクターAIのフレームとして導入され始めている。
- (3) エージェント・アーキテクチャによる自律型AIは空間と時間を自由に支配する機能の実現を目指す。

コンテンツ

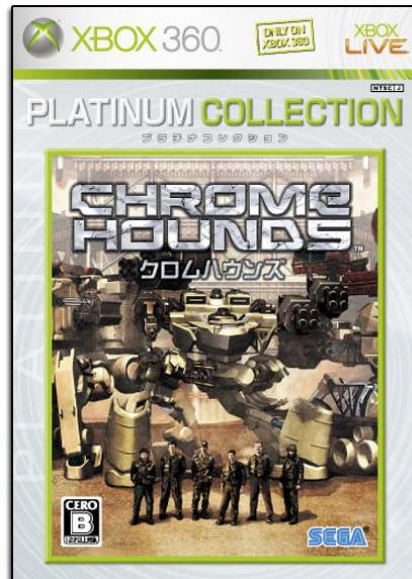
第1章 キャラクターAIとは何か？

第2章 クロムハウズにおける自律型エージェント

- ① 個としてのAI
- ② マルチエージェント

第3章 大学・研究機関におけるゲームAI研究の仕方

ChromeHounds



内容:オンライン上でロボットチーム対戦

開発元: FromSoftware

出版: SEGA

Hardware: Xbox360

出版年: 2006年

リアルな戦場で、ロボットからなるチーム同士で戦うネットワークゲーム。
オンライン上で、プレイヤーチームと、AIチームとの対戦が可能。

ChromeHounds デモ

ChromeHounds デモ

ChromeHounds NPCの課題

人間の代わりに、
プレイヤーチームと戦う COM のチームを作る。

(マルチエージェント)



プレイヤーチーム(最大6名)



AIチーム(最大6名)



コンテンツ

第1章 キャラクターAIとは何か？

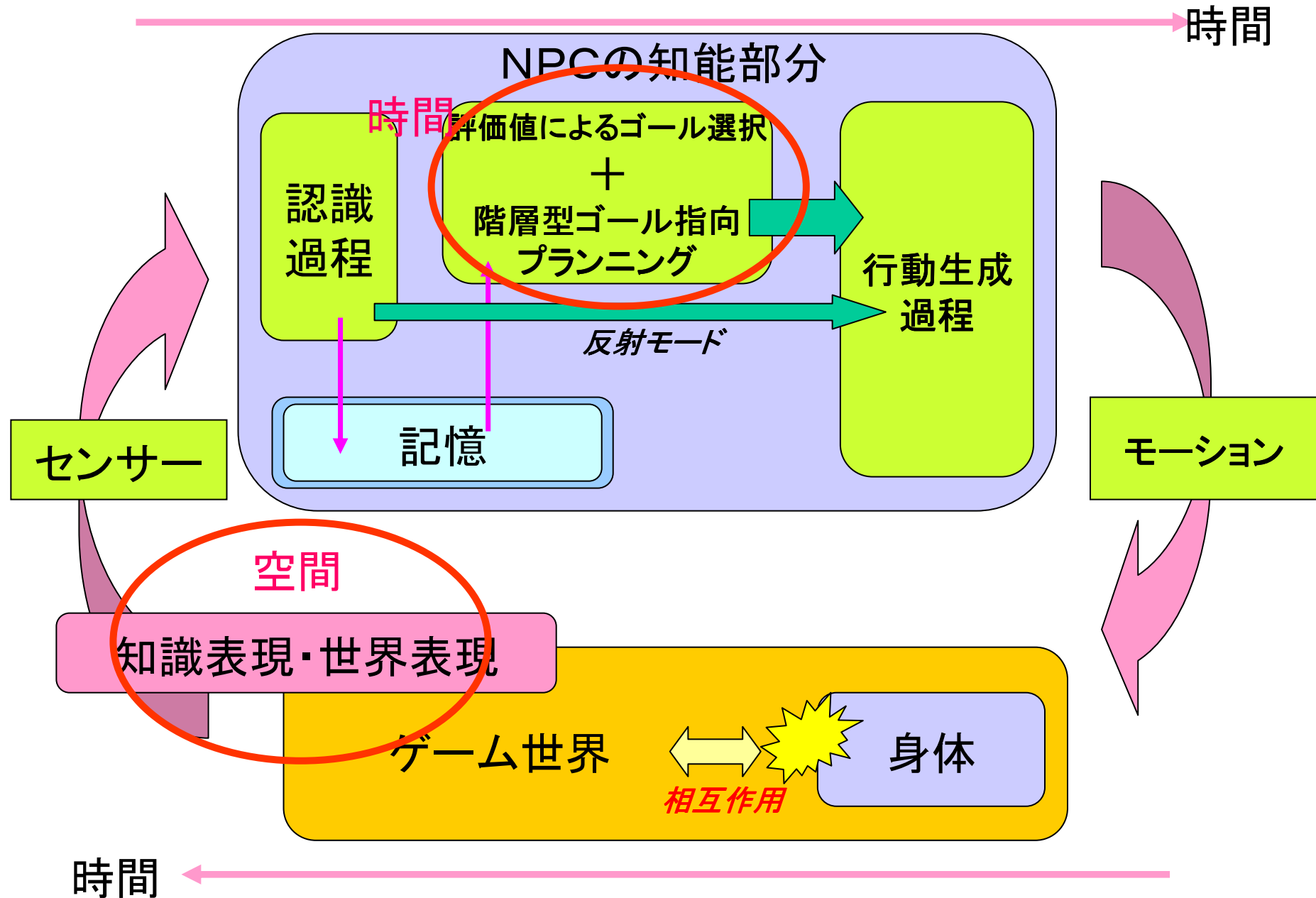
第2章 クロムハウズにおける自律型エージェント

① 個としてのAI

② マルチエージェント

第3章 大学・研究機関におけるゲームAI研究の仕方

ChromeHounds NPCのAIのアーキテクチャ



自律型エージェントの実現

世界表現を用いたスマートなリアルタイム パス検索

×

リアルタイム ゴール指向型プランニング

×

意思決定機構



自律型エージェント 完成

自分で計画を立て、任意の場所に移動できるAIを実現する

自律型エージェントの実現

世界表現を用いたスマートなリアルタイム パス検索

×

リアルタイム ゴール指向型プランニング

×

意思決定機構

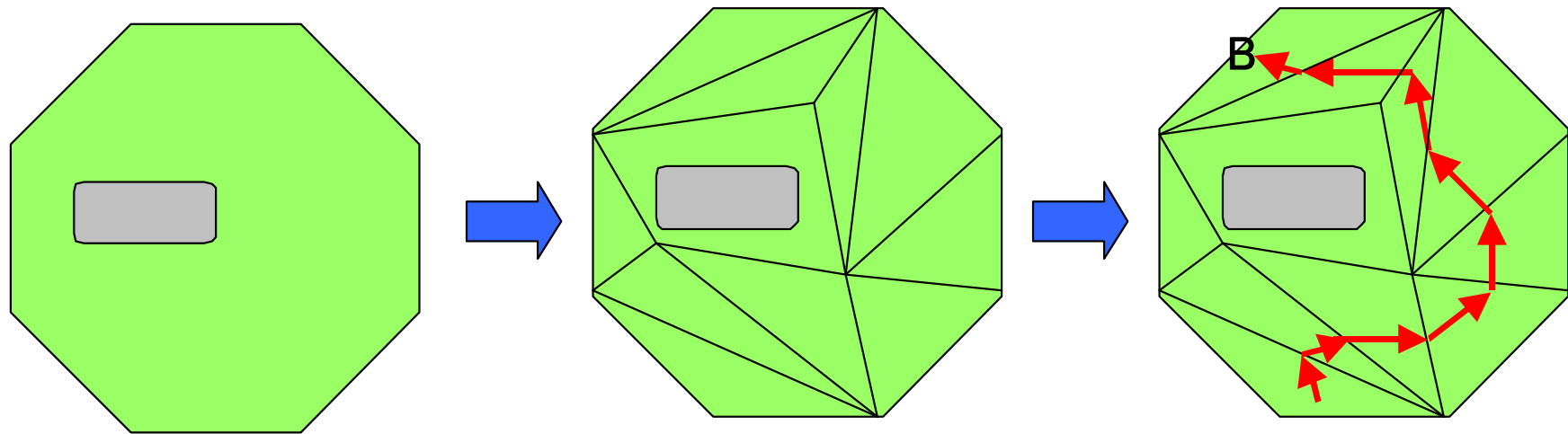


自律型エージェント 完成

自分で計画を立て、任意の場所に移動できるAIを実現する

Navigation Mesh 法とは？

マップを凸多角形で埋めてキャラクターを移動させる方法

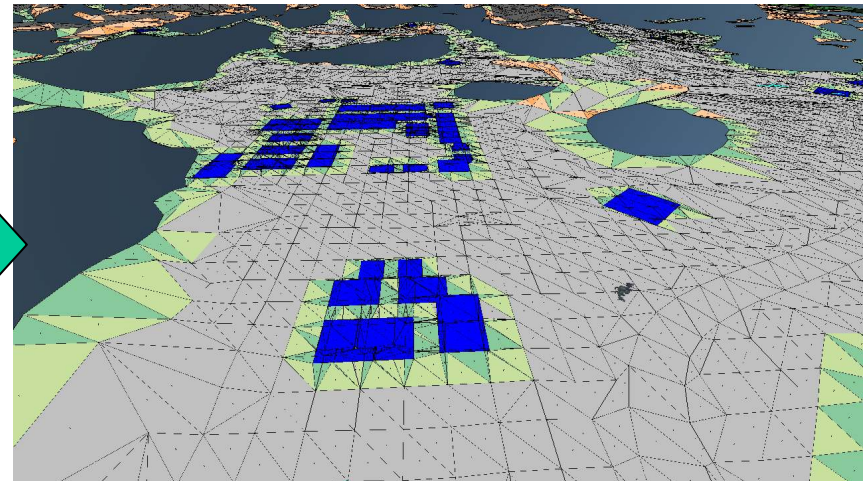


手順

- (1) マップを障害物を含まない三角形に分割する(データを用意する)
- (2) その三角形の情報から、パスを検索する(ゲーム内リアルタイム)。
- (3) 検索したパスに従って移動する(ゲーム内リアルタイム)。

クロムハウズにおけるナビゲーションメッシュ

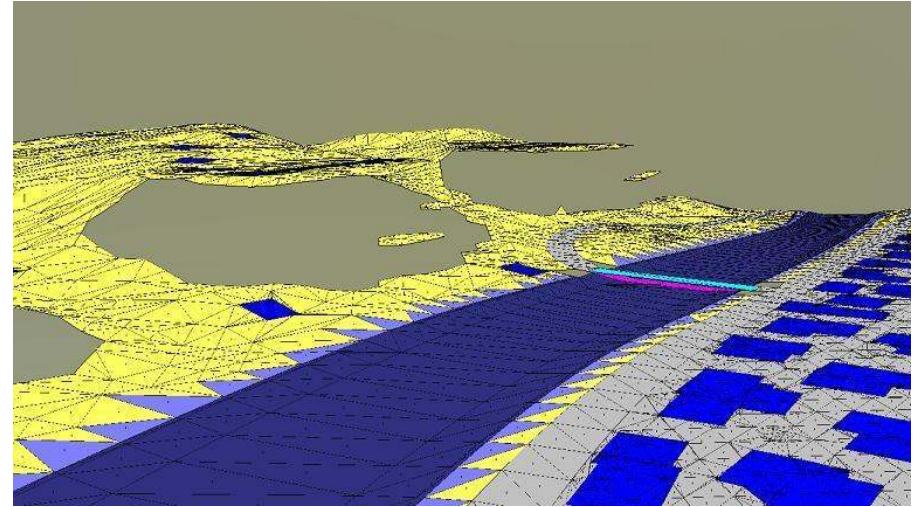
- (1) 30000 – 80000 メッシュ
- (2) 複雑な地形にも対応
- (3) メッシュを当りマップデータから**自動生成**
- (4) マルチ分解能
- (5) 地形表面の性質(雪、砂など)の情報が埋め込まれたメッシュ



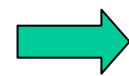
山岳、街、湖など、80に及ぶバリエーションに富んだマップに対し、**単一のデータ形式、アルゴリズム**で対応することが出来た(汎用性)。

情報が埋め込まれたナビゲーションメッシュ

クロムハウنزにおける世界表現



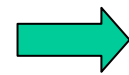
- (1) 水や砂地は、ハウنزのスピードを減速させるので、メッシュに表面の性質を埋め込んでおく



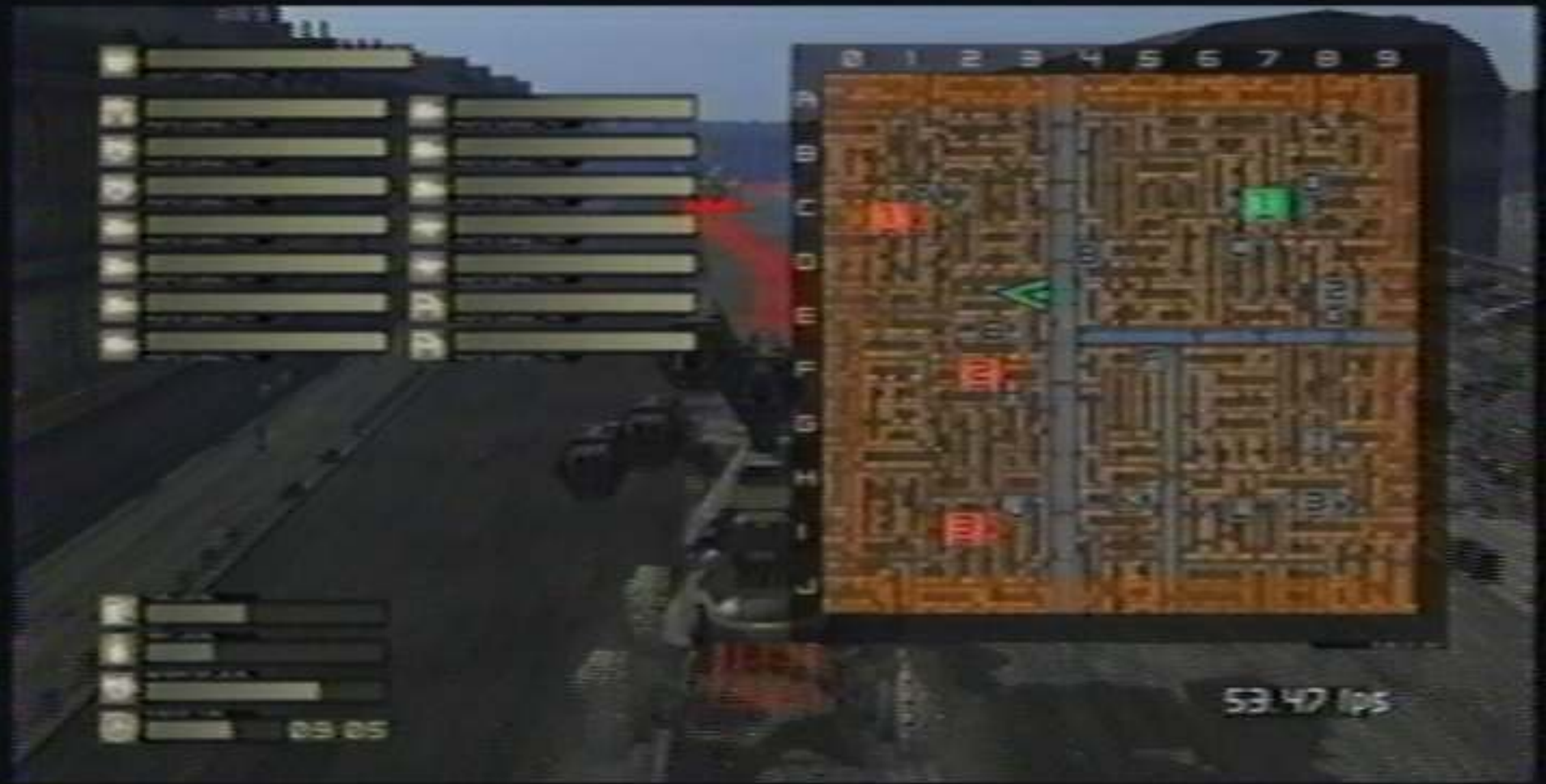
最短時間の経路を導く

キャラクターが地表効果を考慮して移動する

- (2) 障害物が破壊されたら、メッシュのデータを更新する



キャラクターが状況の変化に対応して移動する





自律型エージェントの実現

世界表現を用いたスマートなリアルタイム パス検索

×

リアルタイム ゴール指向型プランニング

×

意思決定機構



自律型エージェント 完成

自分で計画を立て、任意の場所に移動できるAIを実現する

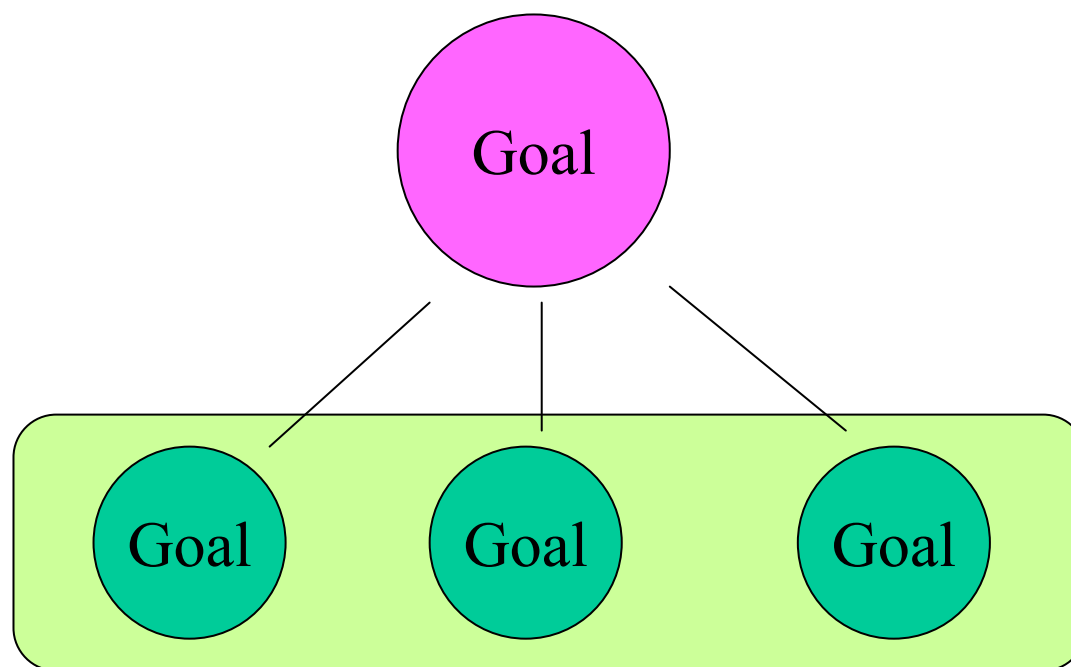
リアルタイム ゴール指向型プランニング

時間を支配する

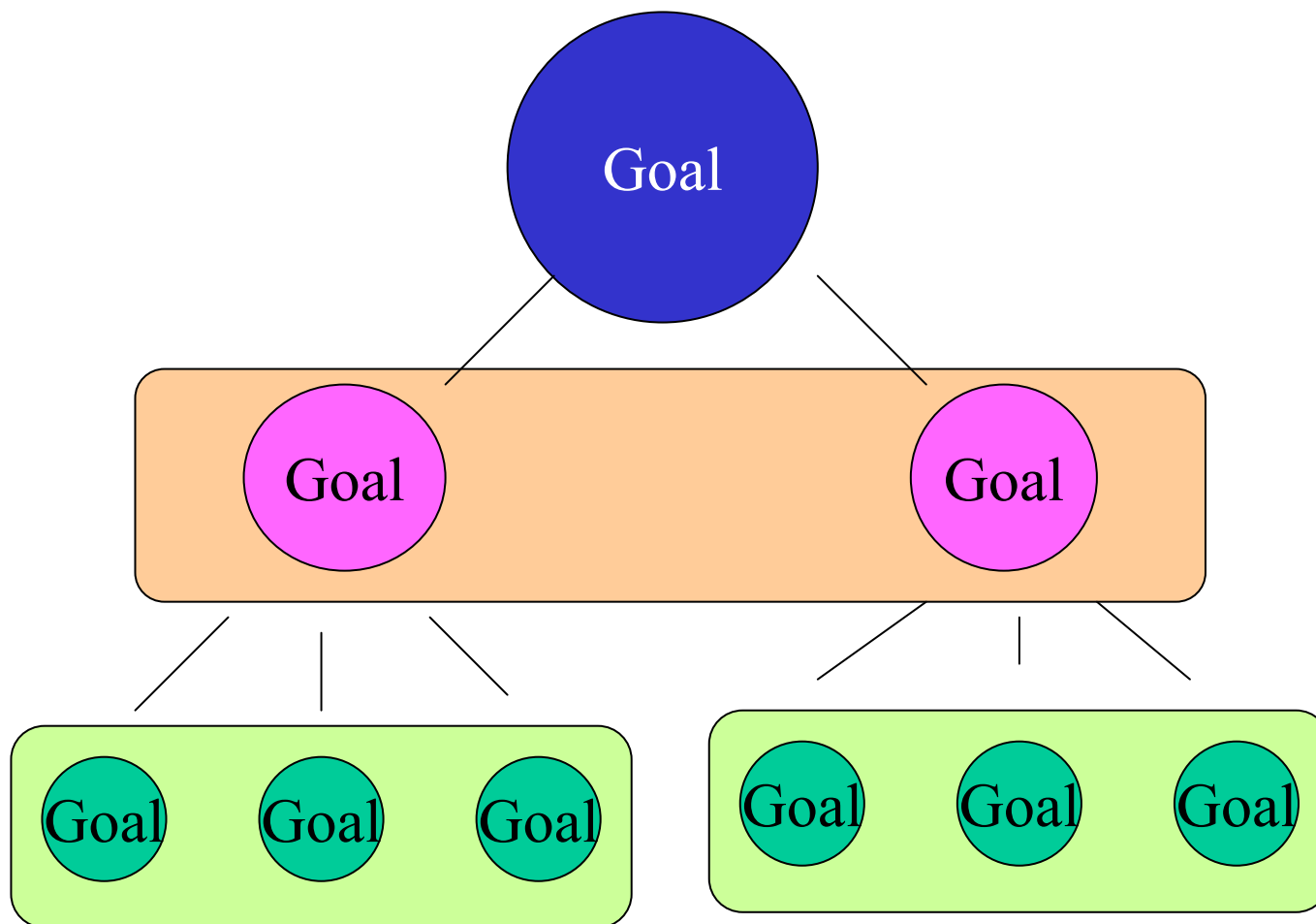
状況に応じたプランを形成

階層型ゴール指向プランニングとは？

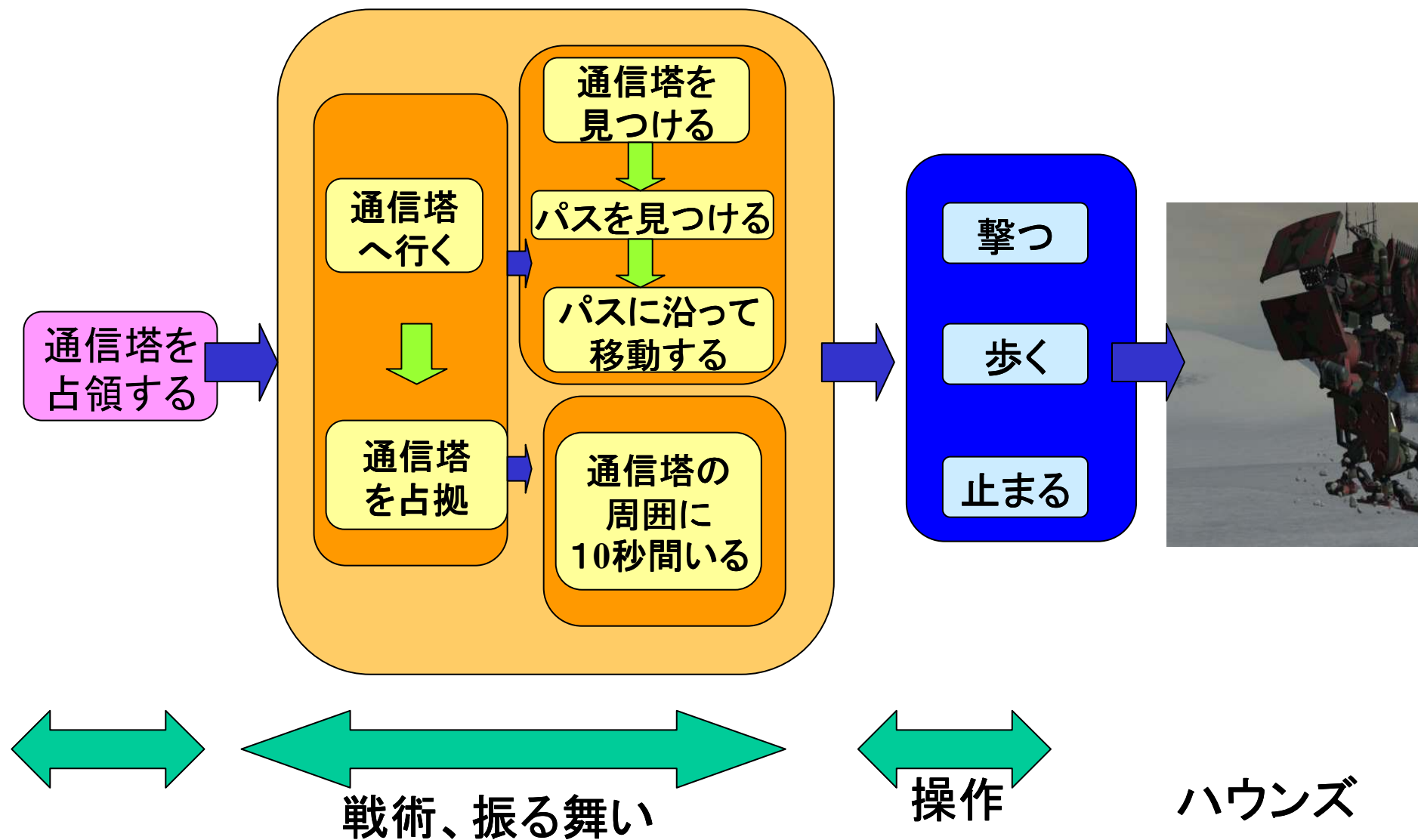
一つのゴールはより小さなゴールから組み立てられる



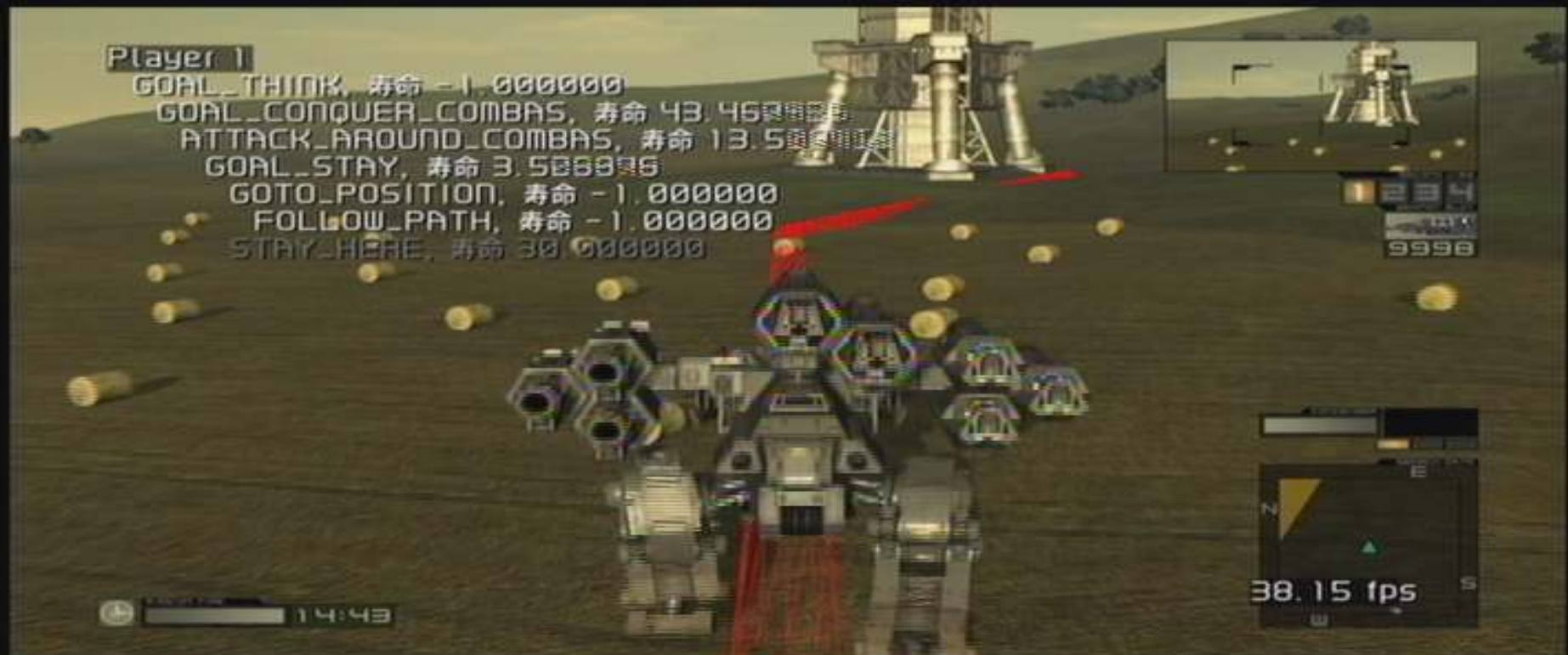
ゴールはより小さなゴールから組み立てられる



クロムハウنزにおける ゴール指向型プランニング



ゴール指向プランニングによって 通信塔を占拠するデモ



左上は階層型プランニングのゴール表示

クロムハウズ ゴール総合図

状況に応じて、戦略を選ぶ知能が必要

ゴールを選択する意思決定機構

戦略層

選択

敵を叩く

通信塔
占拠

味方を
守る

本拠地
防衛

敵本拠地
破壊

味方を
助ける

巡回
する

敵基地
偵察

複数のゴール

戦術層

パスを
たどる

近付く

攻撃
する

ある地点へ
行く

合流
する

巡回
する

逃げる

振る舞い層

2点間を
移動

歩く、一度
止まる、歩く

静止
する

後退
する

前進
する

敵側面
へ移動

操作層

歩く

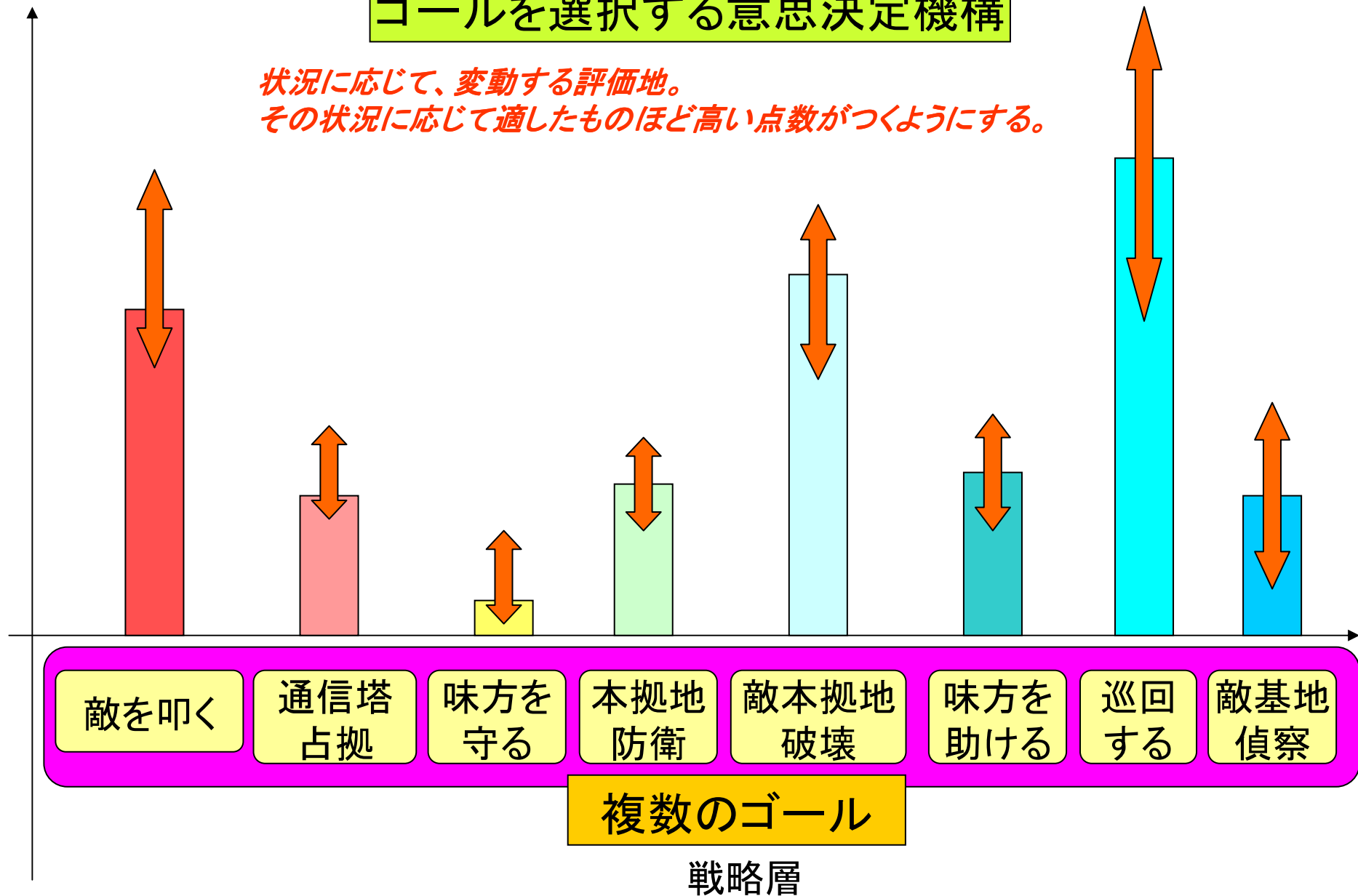
撃つ

止まる

クロムハウズ 状況により変動する評価値のイメージ

ゴールを選択する意思決定機構

状況に応じて、変動する評価地。
その状況に応じて適したものほど高い点数がつくようにする。



自律型エージェントの実現

リアルタイム ゴール指向型プランニング

×

リアルタイム パス検索

×

意思決定機構



自律型エージェント 完成

自分で計画を立て、任意の場所に移動できるAIを実現した！

コンテンツ

第1章 キャラクターAIとは何か？

第2章 クロムハウズにおける自律型エージェント

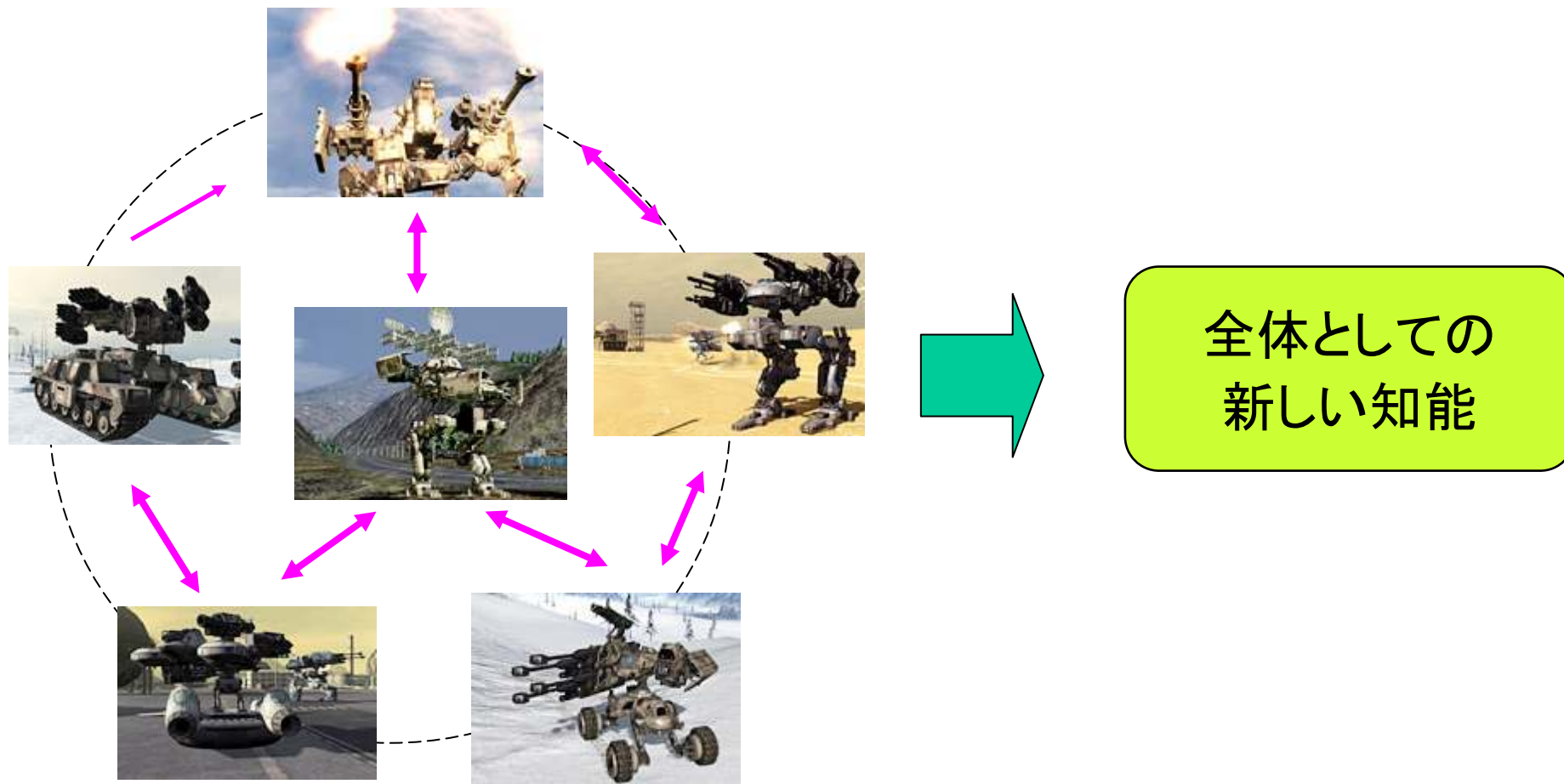
① 個としてのAI

② マルチエージェント

第3章 大学・研究機関におけるゲームAI研究の仕方

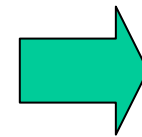
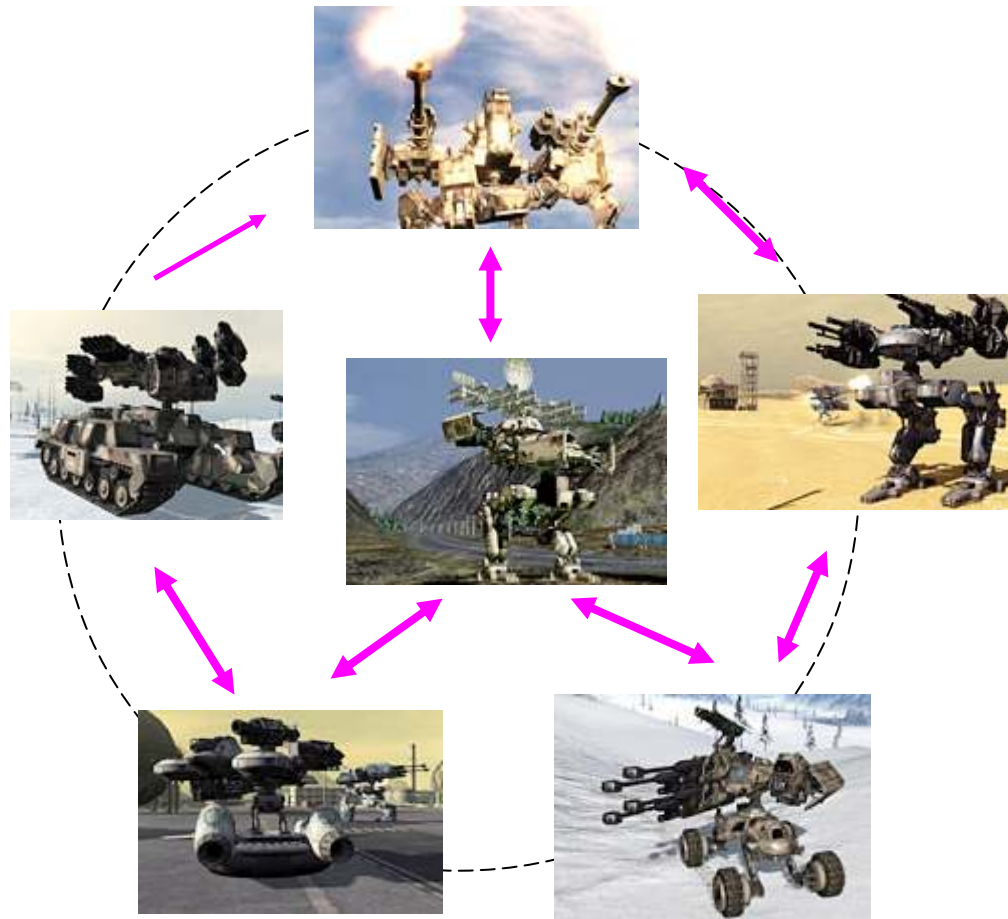
マルチエージェントへ

マルチエージェント技術



各エージェントがそれぞれの機能を果たすことで、
全体として新しい知能を獲得すること。

集団における知性 クロムハウズ



メンバーの維持

①護衛

②救援

ゴールによる協調

相手チームに対する
状況的優位を築く

③戦闘判断 ④集中砲火

アルゴリズムによる協調

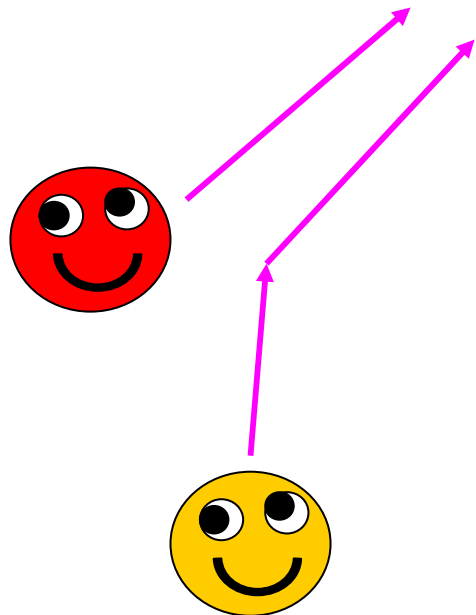
勝利のための
統制された行動

⑤チームAI

チームAIによる協調

クロムハウন্ズにおけるマルチエージェント技術

- ① **護衛** 一体のエージェントが他のエージェントと移動を共にする。



- 「護衛する」というゴールを用意する
- 護衛される対象は戦力が少ないか、移動速度が遅いハウンドが選ばれやすい

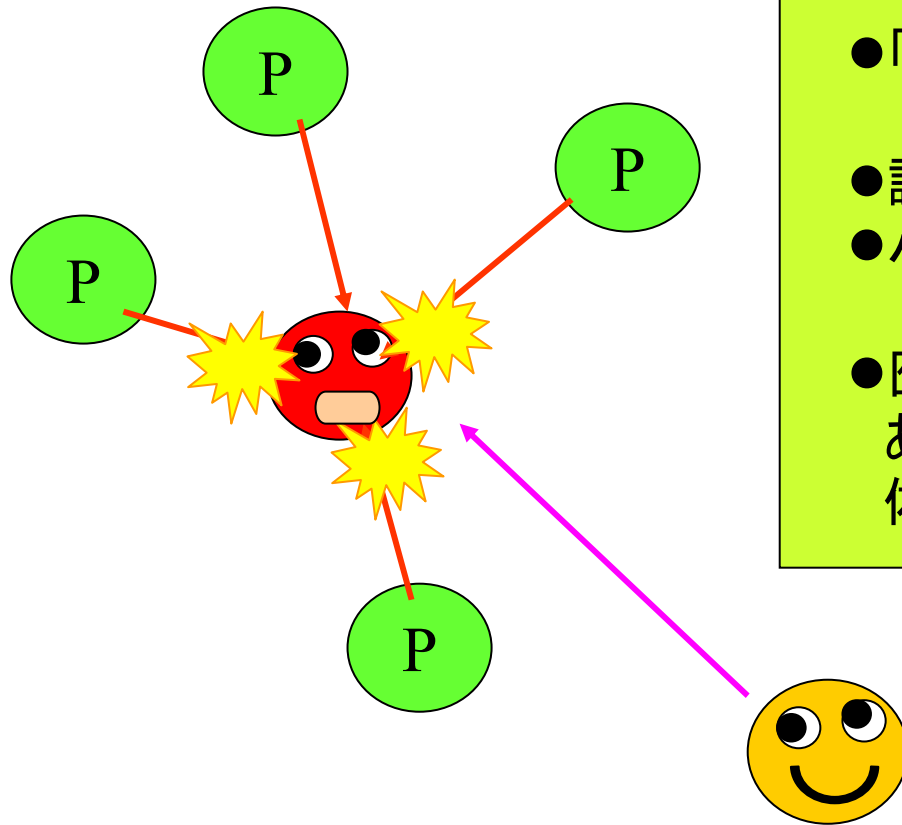
クロムハウন্ズにおけるマルチエージェント技術

①護衛



クロムハウন্ズにおけるマルチエージェント技術

- ② **救援** 一体のエージェントが窮地にある他のエージェントの戦場に駆けつける。



- 「救援する」というゴールを用意する
- 護衛される対象は体力の残りが少ない
- ハウন্ズ
- 囿に使われる可能性があるので、あまりに遠かったり、あまりに体力が少ない場合は、救援に行かない

クロムハウন্ズにおけるマルチエージェント技術

②救援

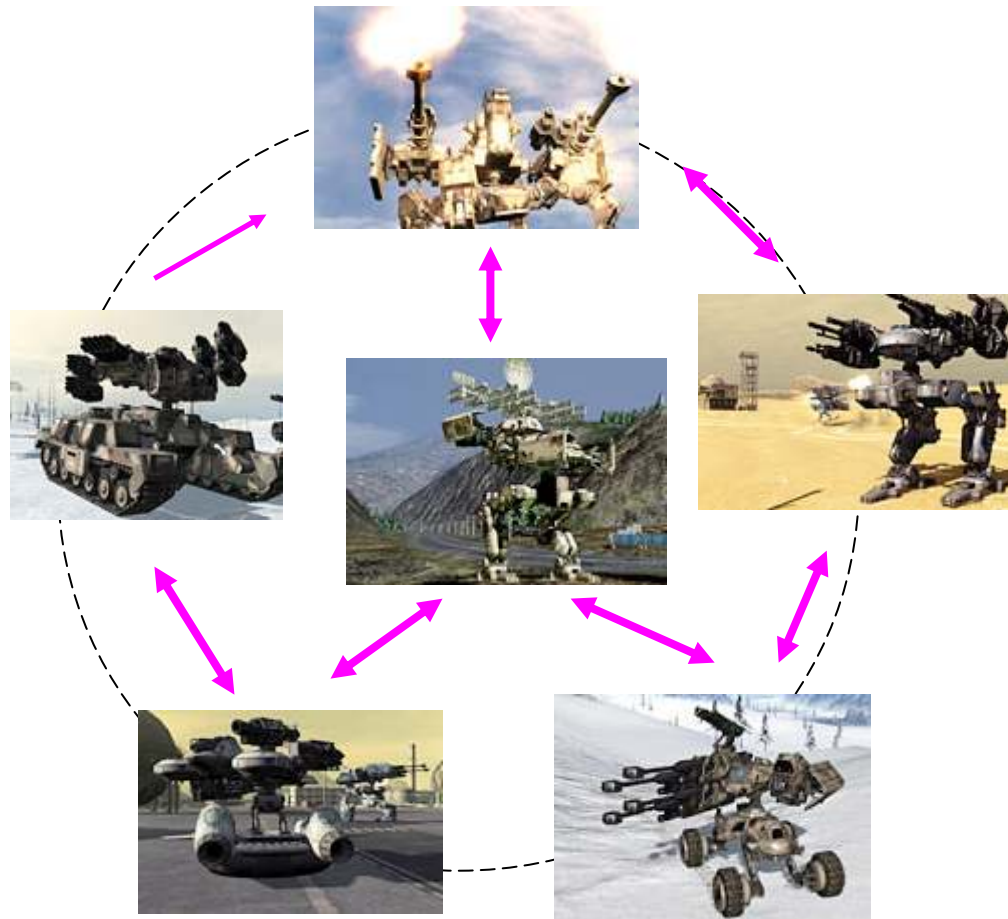
ALL AI SYSTEM

AIチーム vs AIチーム 戦デモ



ALL AI SYSTEM

集団における知性 クロムハウズ



メンバーの維持

①護衛

②救援

ゴールによる協調

相手チームに対する
状況的優位を築く

③戦闘判断 ④集中砲火

アルゴリズムによる協調

勝利のための
統制された行動

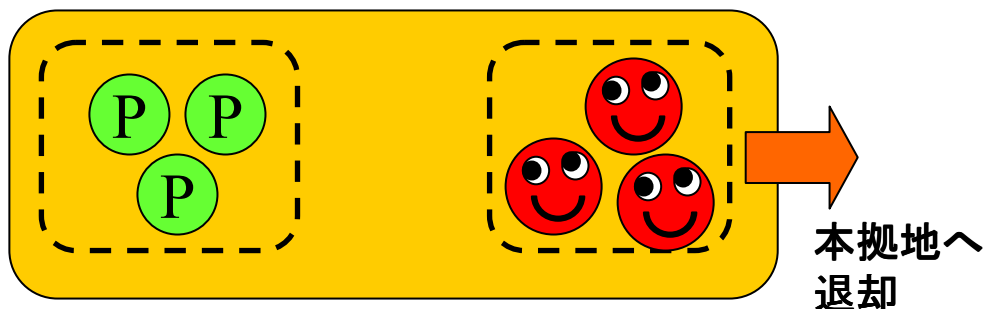
⑤チームAI

チームAIによる協調

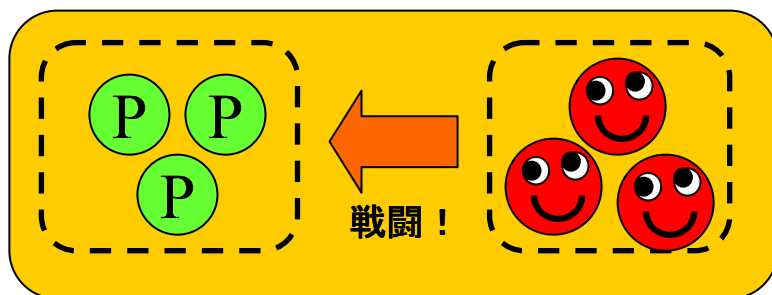
クロムハウنزにおけるマルチエージェント技術

- ③ **戦闘判断** エージェントが周りの敵と味方の戦力を計算して戦うべきか、逃げるべきかを判断する。

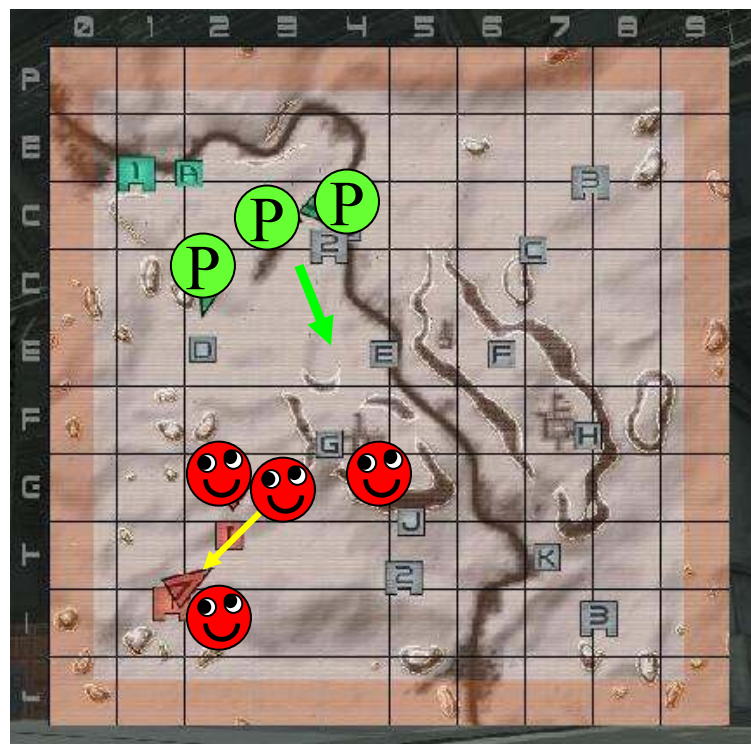
デバッグの過程で追加



プレイヤーたちの戦力 $> 1.4 \times$ エージェントたちの戦力



プレイヤーたちの戦力 $< 1.4 \times$ エージェントたちの戦力



戦力比が大きい無駄な戦闘を回避し、常に相手を上回る戦力を増築してプレイヤーに対抗する

クロムハウズにおけるマルチエージェント技術

③ 戦闘判断

ALL AI SYSTEM

AIチーム vs AIチーム 戦デモ



ALL AI SYSTEM

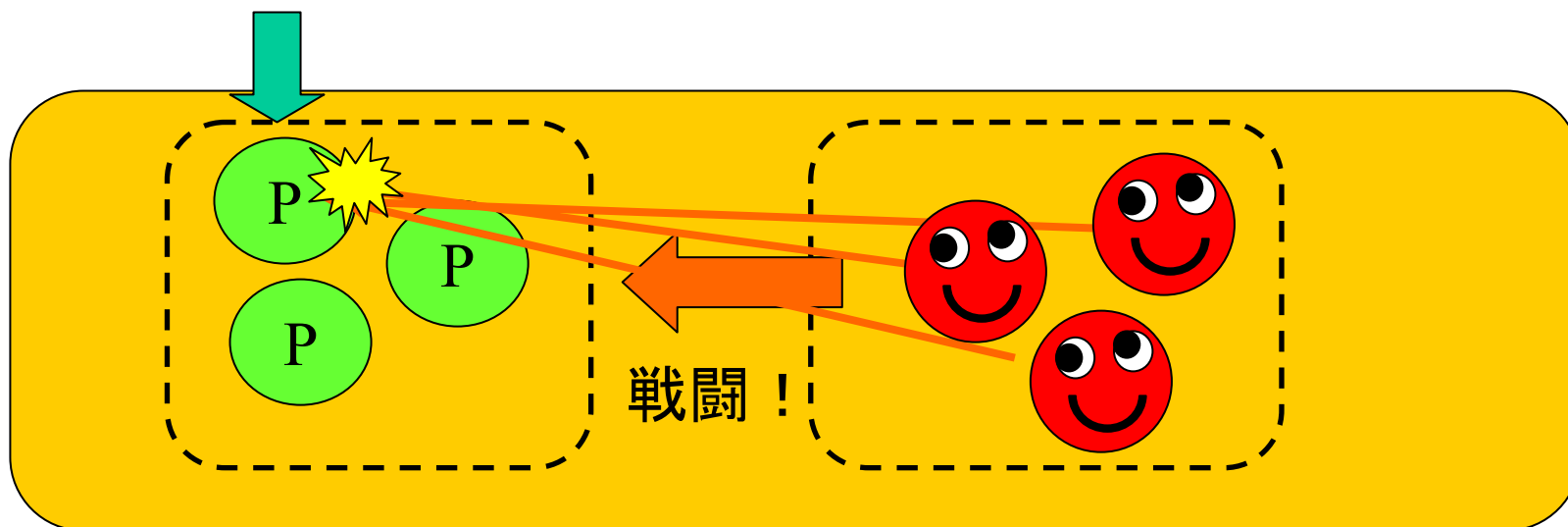
AIチーム vs AIチーム 戦デモ

クロムハウズにおけるマルチエージェント技術

- ④ **集中砲火** 複数のエージェントが複数の敵ターゲットに対し
ターゲットを統一する

デバッグの過程で追加

その場で戦力が最も低い敵を集中的に攻撃する



その場で戦力が最も低い敵を集中的に攻撃し
ダメージの分散を防ぐ

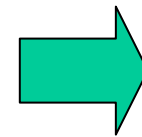
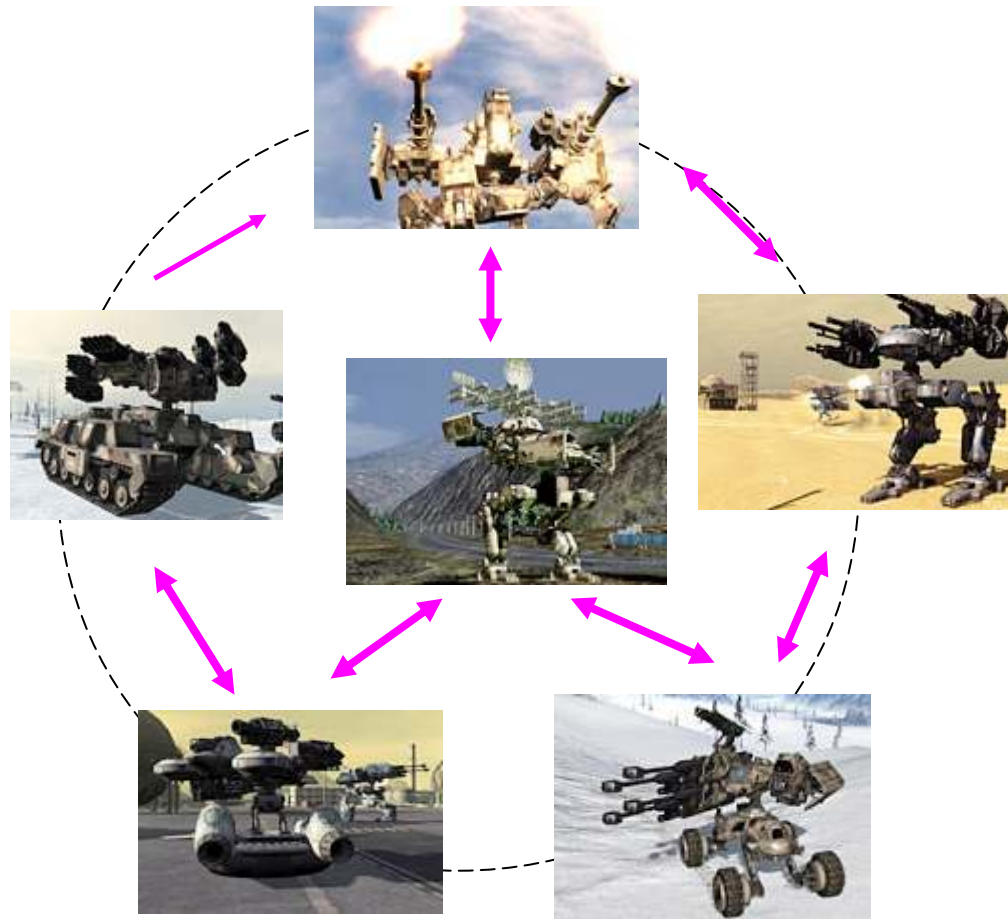
クロムハウنزにおけるマルチエージェント技術

④ 集中砲火 ALL AI SYSTEM AIチーム vs AIチーム 戦デモ



ALL AI SYSTEM AIチーム vs AIチーム 戦デモ

集団における知性 クロムハウズ



メンバーの維持

①護衛

②救援

ゴールによる協調

相手チームに対する
状況的優位を築く

③戦闘判断 ④集中砲火

アルゴリズムによる協調

勝利のための
統制された行動

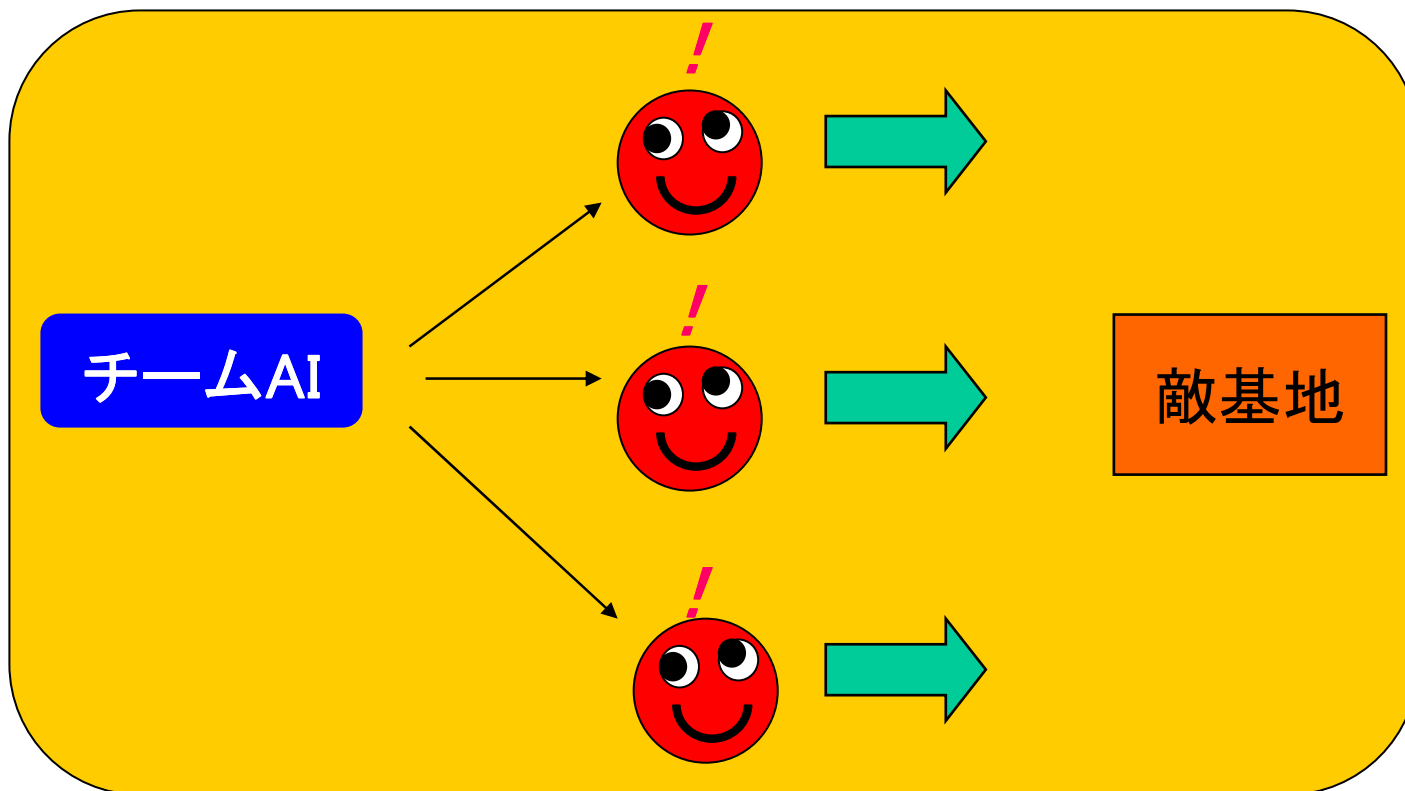
⑤チームAI

チームAIによる協調

クロムハウズにおけるマルチエージェント技術

⑤ 勝利のための統制された行動

複数のエージェントがゴールを共有する



勝利のために目的を共有する

チームAIの構造

4つの戦略を持ち、ゲーム全体の状況を反映する
評価関数によって、一つの戦略を決定する。

(評価関数による意思決定 = 個体の意志決定と同じ方法)

チームAI 意志決定機構



敵殲滅

本拠地
防衛

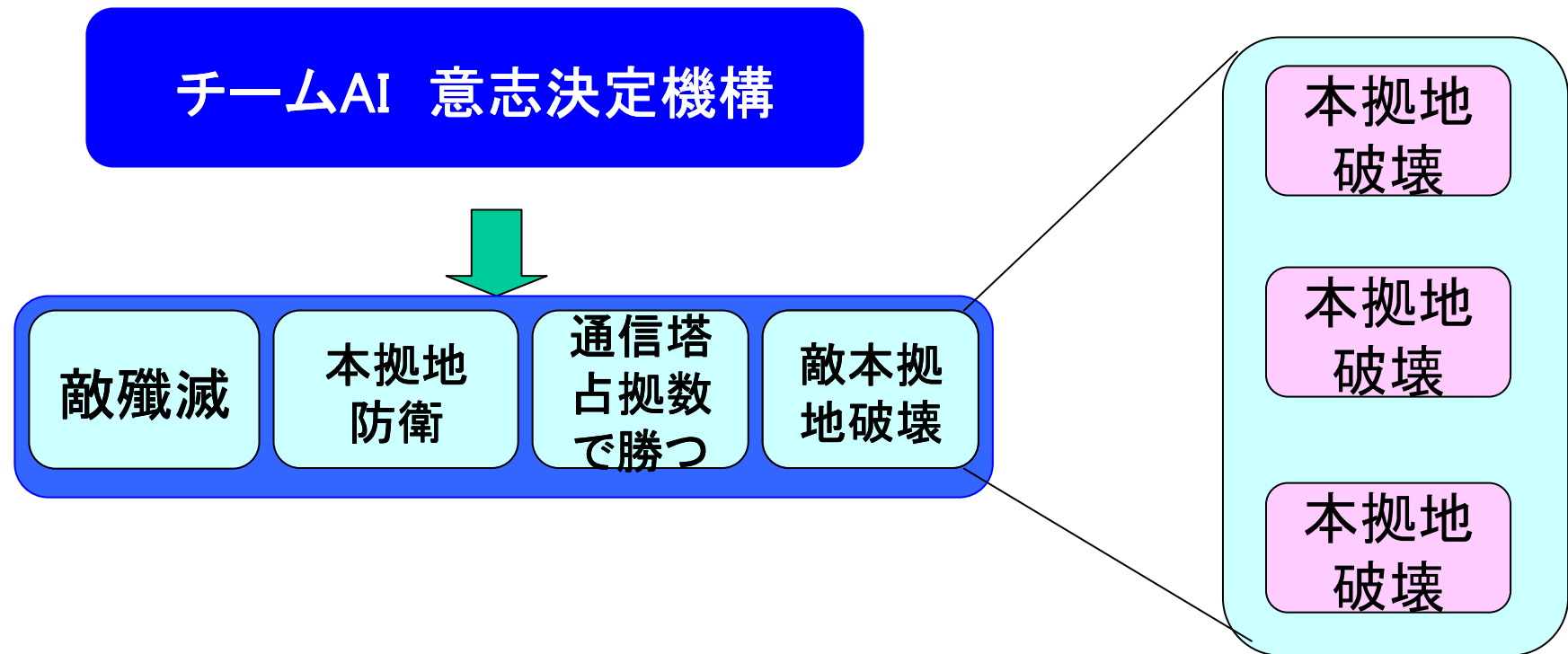
通信塔
占拠数
で勝つ

敵本拠地
破壊

チームとしての戦略
(=勝利条件と同じ)

チームAIの構造

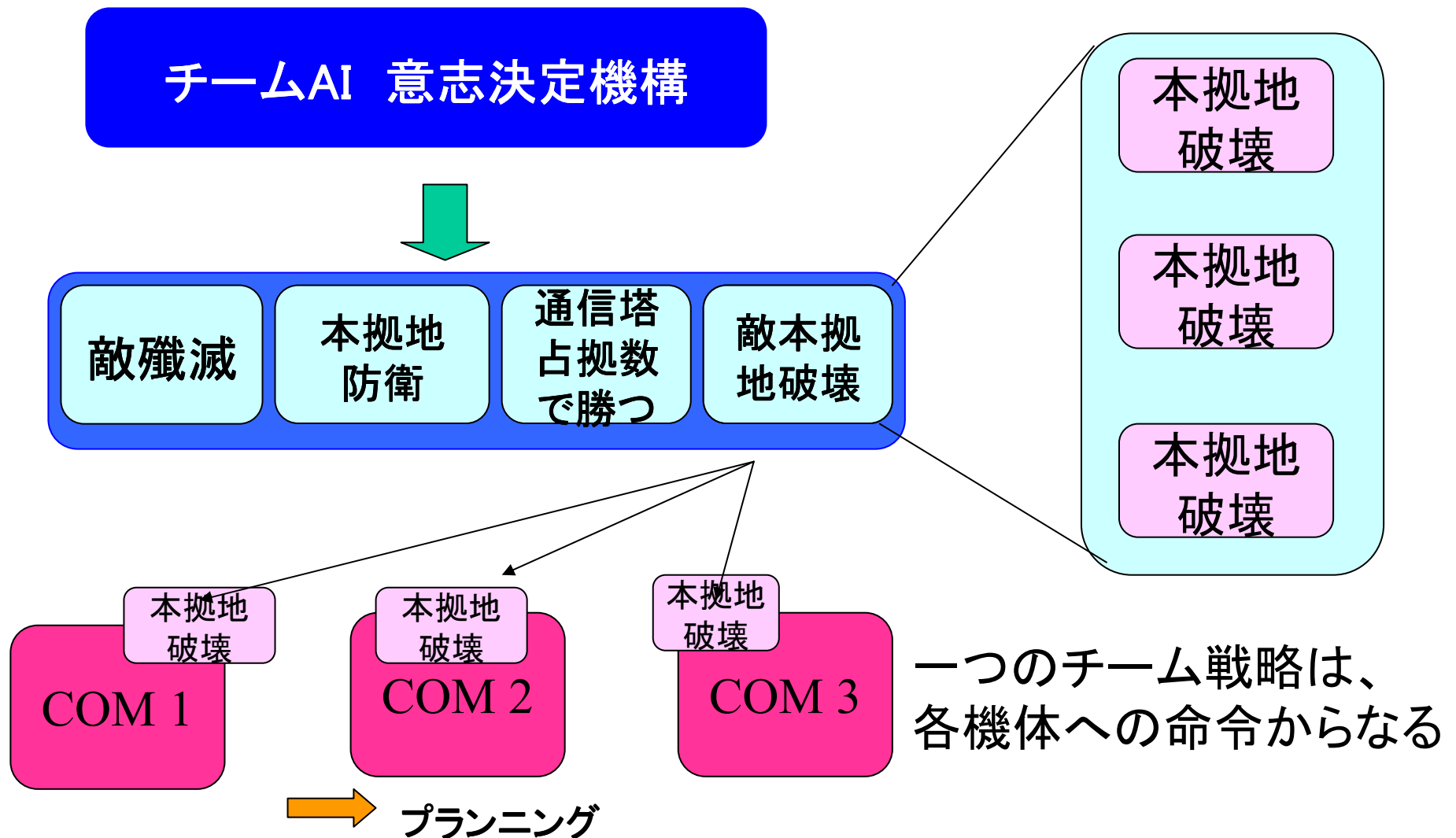
4つの戦略を持ち、評価関数によって、一つの戦略を決定する。
(評価関数による意思決定 = 個体の意志決定と同じ方法)



一つのチーム戦略は、
各機体への命令からなる

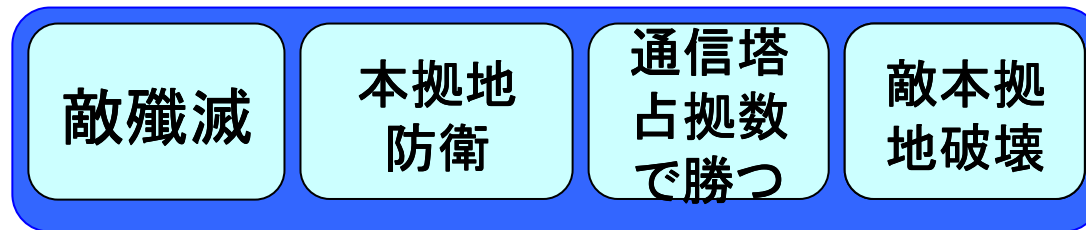
チームAIの構造 = ゴール指向型の拡張

COMのゴール指向プランニングの上に、チームAIを積み上げる



チームAI の意思決定と COMの判断 を比較して、最終的に決定する

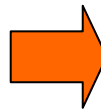
チームAI 意志決定機構



組織としての合理性

本拠地破壊

COM 2



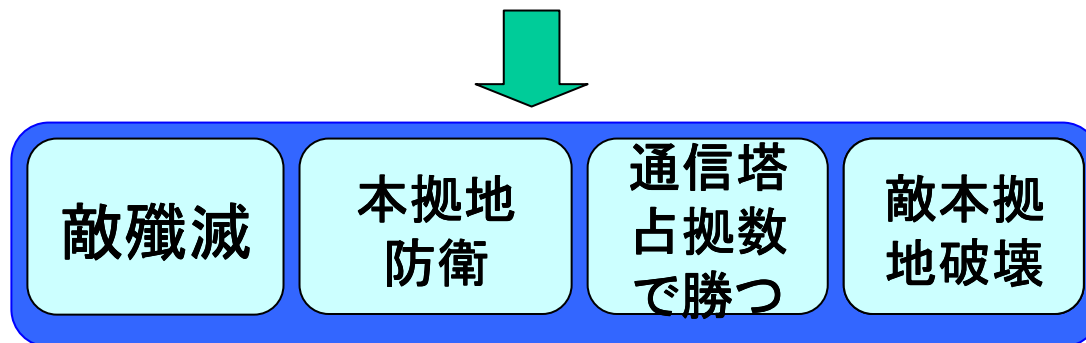
通信塔占拠

個としての合理性

チームAI の意思決定と COMの判断 を比較して、最終的に決定する

チームAI 意志決定機構

チームAIとCOMの
ゴールの評価値を
比較して高い方を選択する。



~~本拠地破壊~~

実行評価値 : 76

COM 2

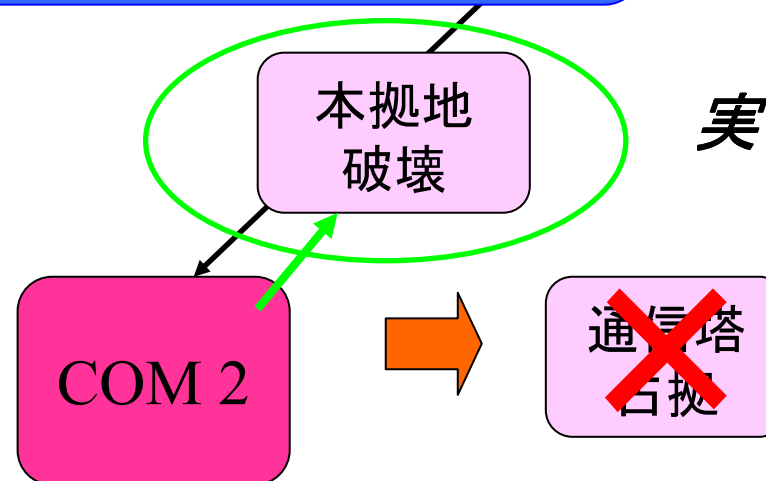
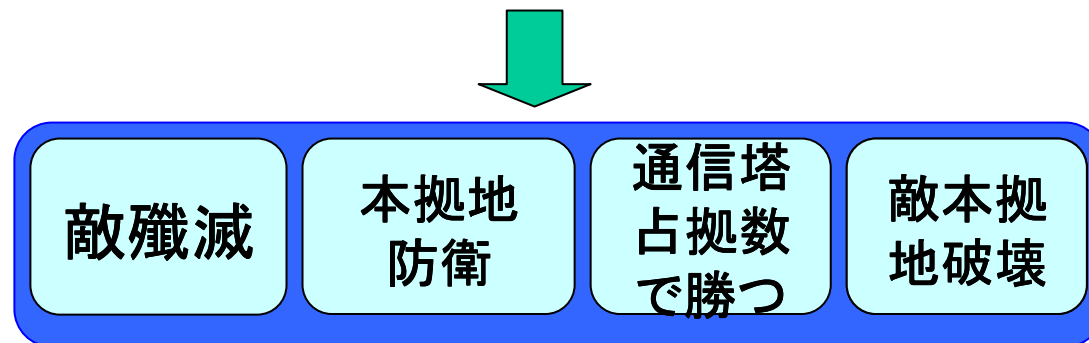
通信塔
占拠

実行評価値 : 88

チームAI の意思決定と COMの判断 を比較して、最終的に決定する

チームAI 意志決定機構

COMが二つの評価値を
比較して高い方を選択する。



実行評価値：64

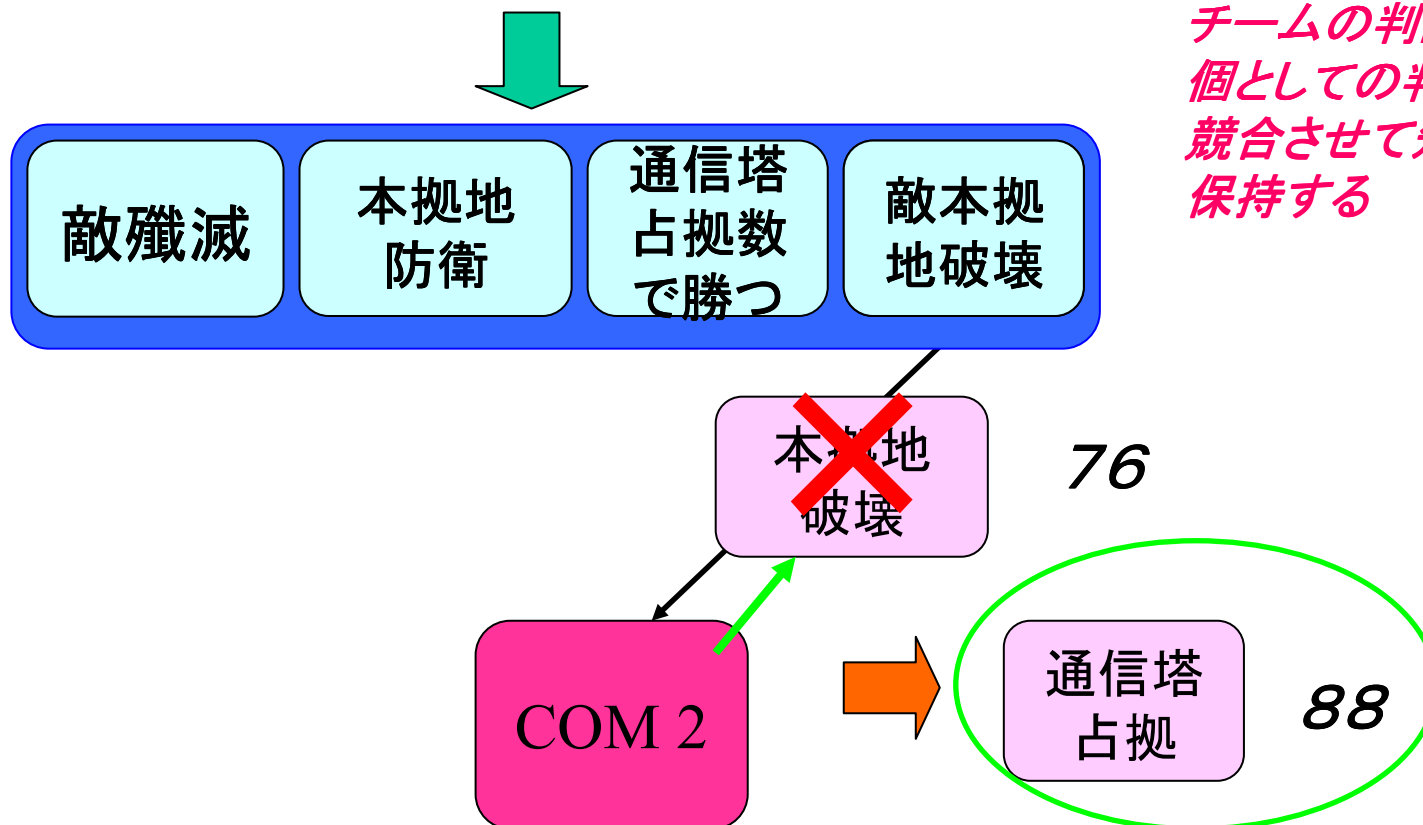
実行評価値：53

チームAI の意思決定と COMの判断 を比較して、最終的に決定する

チームAI 意志決定機構

COMが二つの評価値を
比較して高い方を選択する。

チームの判断、
個としての判断を
競合させて知的な柔軟性を
保持する

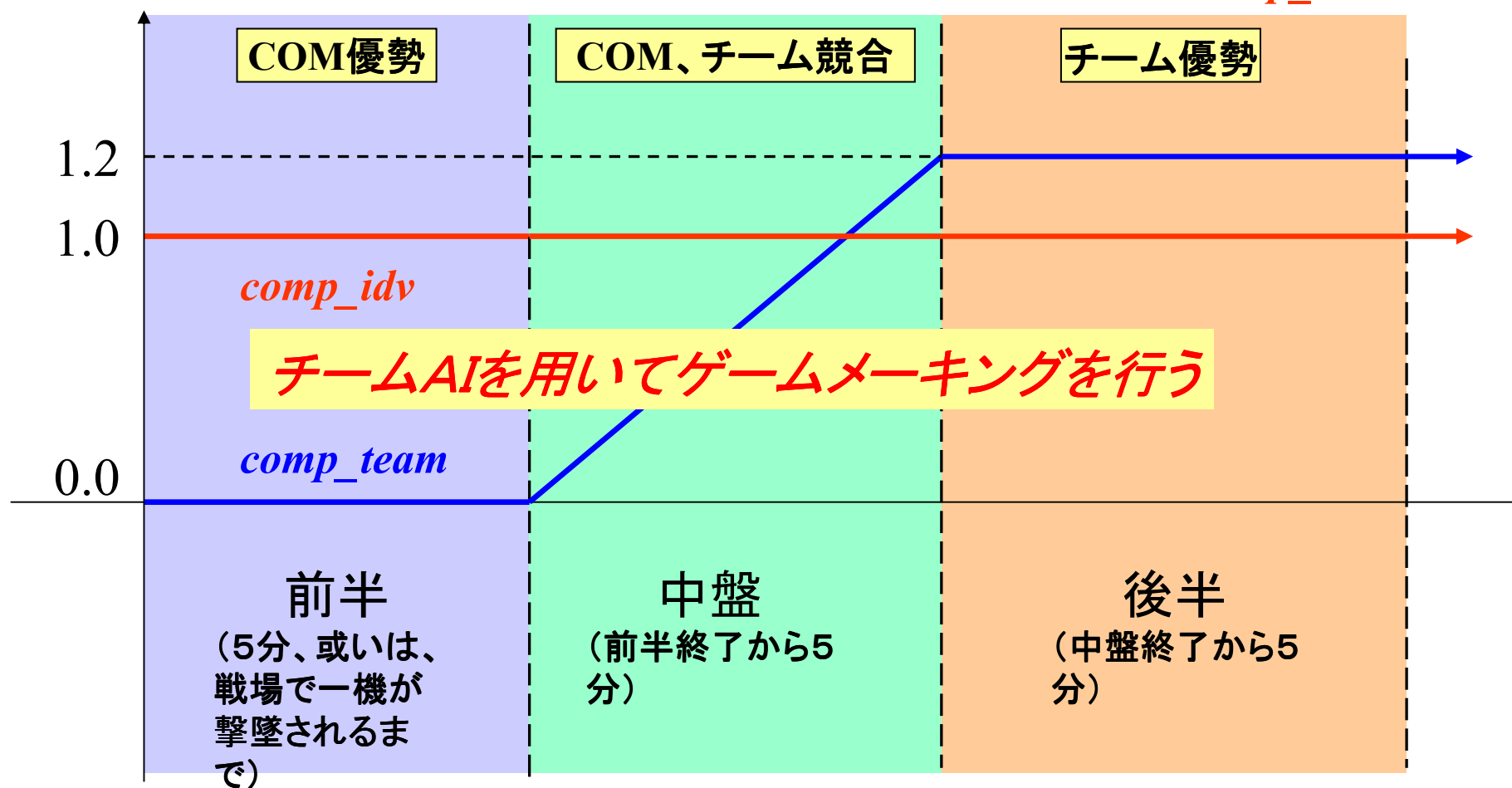


チームAIの介入の仕方

前半はチームAIより個としてのAIの判断を優先、
後半はチームAIの判断を優勢にしたい。

比較のためのチームAIゴール評価値 = ゴール評価値 $\times$ $comp_team$

比較のためのCOM AIゴール評価値 = ゴール評価値 $\times$ $comp_idv$



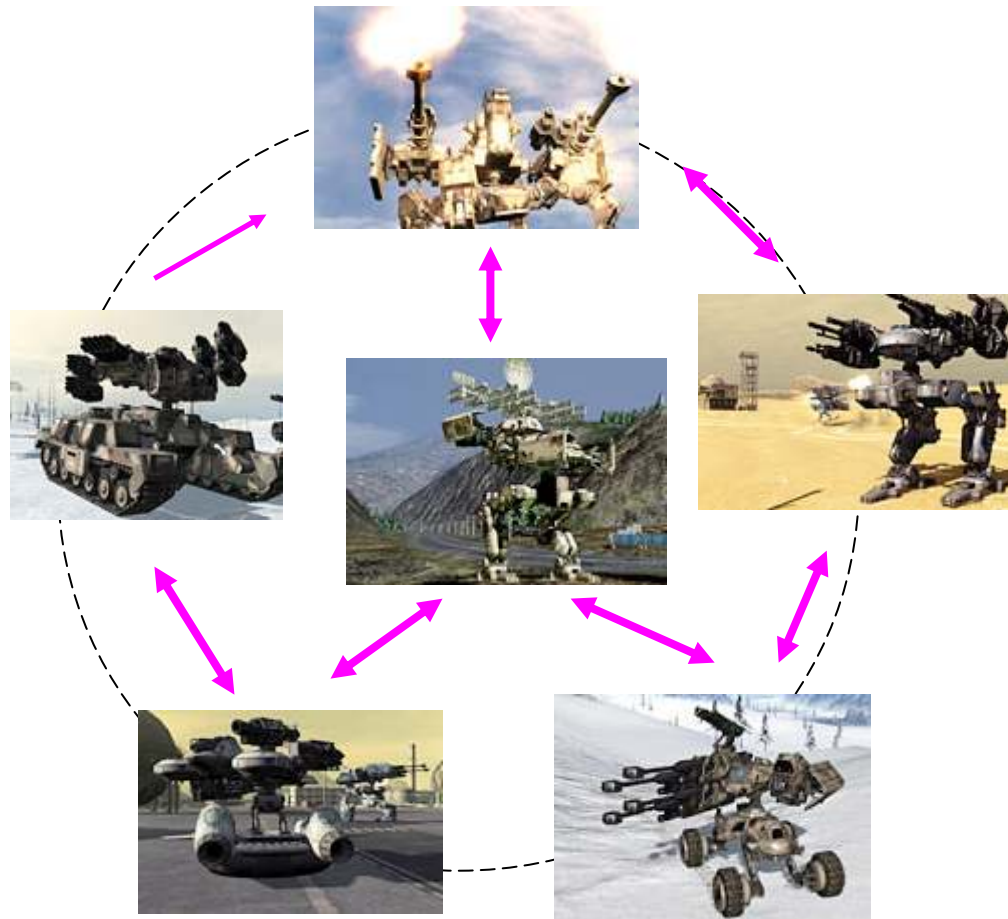
クロムハウন্ズにおけるマルチエージェント技術

⑤ チームAI ALL AI SYSTEM AIチーム vs AIチーム 戦デモ



ALL AI SYSTEM

集団における知性 クロムハウズ



メンバーの維持

①護衛

②救援

ゴールによる協調

相手チームに対する
状況的優位を築く

③戦闘判断 ④集中砲火

アルゴリズムによる協調

勝利のための
統制された行動

⑤チームAI

チームAIによる協調

このように、たくさんのアルゴリズムを
重ねて、ゲームAIは完成します。

第2章まとめ

- (1) リアルタイム・プランニングは、キャラクターAIに長期的な行動を実現した。
- (2) 世界表現の精緻化することで、AIが地形を認識した行動を実現した。
- (3) ゴール指向をチームAIに拡張し、タスク割り当てによるチームAIとしての機能を実現した。
- (4) ゴール指向における評価値の変動によって、個としてエージェントと組織としての知能を対立させ、局所とグローバルな判断を競合させた。
- (5) ゲームメイキングを行うシステムを実現した。

第3章

大学・研究機関におけるゲームAI研究テーマ

学術的な研究テーマ

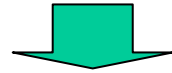
大学におけるゲームAI研究の可能性

(1) 世界表現・知識表現

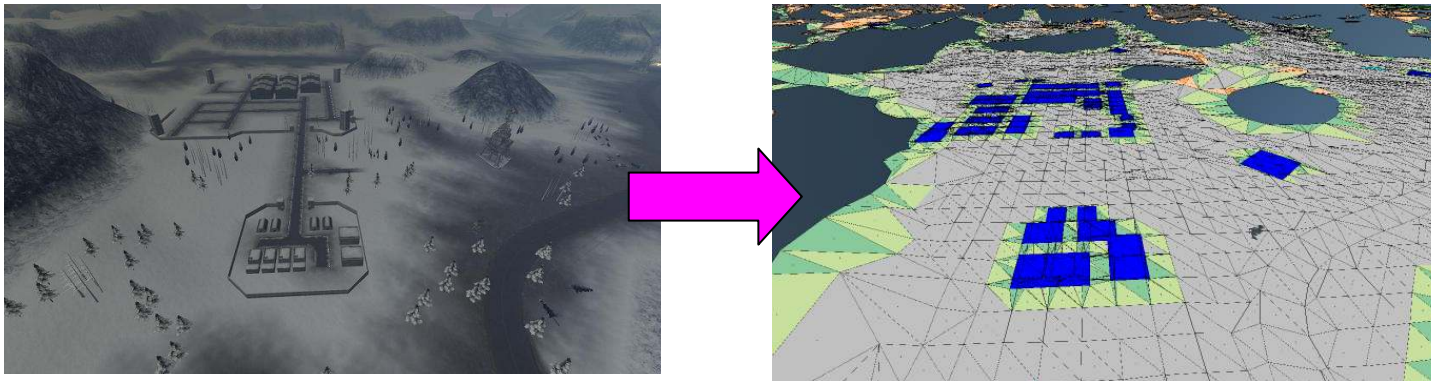
(2) リアルタイムAI

(1) 世界表現・知識表現

ゲームはゲーム毎に様々な知識表現・世界表現を準備する。



マップが拡大するに従い(パス)データの自動生成が、ますます重要になる。



複雑なマップの3D空間のパスデータ自動生成は手付かずの分野

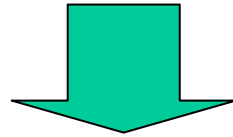
日本のゲーム独自の分野

(海外のゲームではロボットは空を飛ばない)

(2) リアルタイムAI

殆ど完全な情報下におけるリアルタイムAI

(センサーやメカニカルな問題が存在しない)



逆に膨大な情報を1/60(秒内)に処理して行動を決定する
高度な機能の知能かつ効率的なアルゴリズムが求められている

全体のまとめ

- (1) これまでゲームAIは、力任せ的な手法がメインであった。
- (2) 次世代ゲーム開発に入り、人工知能技術の応用が本格化している。
- (3) 学として研究できる新しい分野が幾つかある。
- (4) ゲームはゲームAIに対応して作られるため、日本独自のゲームAIの研究分野がある。

ゲームAIの情報リソース

- ① 日本のゲーム企業は殆ど、外に技術情報を公開しない。
- ② 欧米のゲーム企業は競ってGDC(Game Developers Conference)などで、技術情報を公開する。

(I)参考文献(日本語)

- ①「世界表現」「プランニング」については、IGDA日本のHPの「ダウンロード」から、三宅が書いた第1, 2, 5, 6回セミナーの教科書、CEDEC2006の資料がDLできます。

<http://www.igda.jp/>

(センサーの実装の仕方、記憶の利用法などを知りたい方は必読)

- ② デジタルコンテンツ協会

デジタルコンテンツ制作の先端技術応用に関する調査研究報告書(第3章)

http://www.dcaj.org/report/2007/ix1_07.html

(PDFファイルがダウンロード出来ます。)

- ③ 人工知能学会誌 Vol. 23 No. 1 (2008 年 1 月) 「ゲームAI特集」
「デジタルゲームにおける人工知能技術の応用」(三宅)

日本のゲーム企業は殆ど、外に技術情報を公開しない。

(II)参考文献(英語)

WEB

Mat Buckland

ai-junkie <http://www.ai-junkie.com/ai-junkie.html>

Craig Reynolds

RAYNOLDS <http://www.red3d.com/>

リンク集 <http://www.red3d.com/cwr/games/>

Steven Rabin

GameAI <http://www.gameai.com/>

CGF-AI

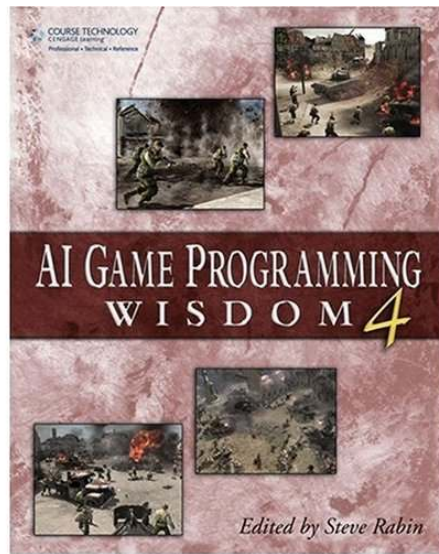
CGF-AI <http://www.cgf-ai.com/>

リンク集 <http://www.cgf-ai.com/links.html>

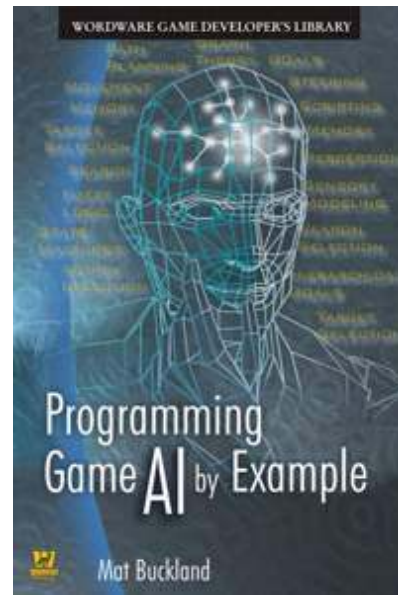
欧米のゲーム企業は競ってGDCなどで、技術情報を公開する。

(II)参考文献(英語)

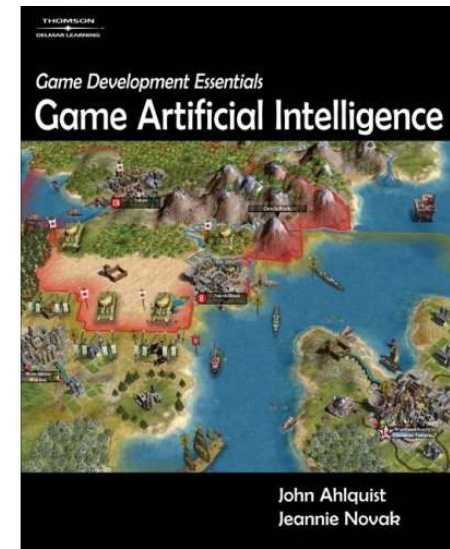
書籍



AI Game Programming Wisdom 4



Progrmming Game AI by Example



Game Artificial Intelligence

欧米のゲーム企業は競ってGDCなどで、技術情報を公開する。

ご清聴ありがとうございました。

質疑応答



これ以外に、意見や質問があれば、メールへ
y.m.4160@gmail.com

Programming skills

Programming for goal-oriented (*Design Pattern: Composite structure*)

